

ペルー共和国  
運輸通信省

ペルー国  
地下鉄耐震構造設計の  
国家基準整備及び  
リマ都市交通計画アドバイザー業務  
業務実施報告書

2022年3月

独立行政法人  
国際協力機構（JICA）

日本工営株式会社

社基
JR
22-059

## 目次

第1章 概論.....	1-1
1.1 業務概要.....	1-1
1.1.1 業務の背景.....	1-1
1.1.2 現状認識と課題.....	1-1
1.1.3 業務の目的.....	1-3
1.2 業務の実施内容.....	1-3
第2章 業務実施結果.....	2-4
2.1 第4レポートの情報整理及び助言とりまとめ.....	2-4
2.1.1 第4レポートの情報整理.....	2-4
2.1.2 第4レポートの助言とりまとめ.....	2-5
2.2 第4レポートに対するペルー側への助言.....	2-8
2.3 第5レポートの情報整理及び助言とりまとめ.....	2-10
2.3.1 第5レポートの情報整理.....	2-10
2.3.2 第5レポートの助言とりまとめ.....	2-11
2.4 第5レポートに対するペルー側への助言.....	2-22
2.5 第6レポートの情報整理及び助言とりまとめ.....	2-34
2.6 ペルー国住宅建設省（以下、MVCS）主催のオンラインセミナーへの参加.....	2-36
第3章 業務上の課題とその対応、および今後の教訓や提言.....	3-1
3.1 業務上の課題と対応.....	3-1
3.2 今後の教訓や提言.....	3-2

## 付属資料

付属資料-01：第4レポートに対するプレゼンテーション資料	第4レポートに関する助言
付属資料-02：第4レポートに対するプレゼンテーション資料	基準検証の必要性に関する助言
付属資料-03：第5レポートに対するプレゼンテーション資料	第5レポートに関する助言
付属資料-04：2021年3月21日 耐震設計セミナーのプレゼンテーション資料	性能設計
付属資料-05：2021年3月21日 耐震設計セミナーのプレゼンテーション資料	設計地震動
付属資料-06：2021年3月21日 耐震設計セミナーのプレゼンテーション資料	耐震設計
付属資料-07：第5レポートに対するプレゼンテーション資料	性能マトリクスの例示資料
付属資料-08：ペルー国住宅建設省（MVCS）主催のオンラインセミナー	プレゼンテーション資料 地下構造物の耐震設計のための技術基準の作成
付属資料-09：ペルー国住宅建設省（MVCS）主催のオンラインセミナー	プレゼンテーション資料 都市の交通計画

ペルー国地下鉄耐震構造設計の国家基準整備及びリマ都市交通計画アドバイザー業務  
調査対象位置図



## 図一覧

図 2.1 例示する耐震性能マトリクスの違い .....	2-32
------------------------------	------

## 表一覧

表 1.1 過去3回のレポートにおける記載内容と日本側の主な助言内容 .....	1-2
表 2.1 第4レポートに記載された情報 .....	2-4
表 2.2 MTC の意見 .....	2-8
表 2.3 JICA 調査団とペルー側コンサルタントとの技術的な合意点と相違点 .....	2-9
表 2.4 第5レポートに記載された情報 .....	2-10
表 2.5 ペルー側の参加機関(事前の参加登録機関を含む) .....	2-24
表 2.6 第5レポートに対する MTC の意見 .....	2-25
表 2.7 JICA 調査団とペルー側コンサルタントとの技術的な合意点と相違点 .....	2-32
表 3.1 業務上の課題と課題解決に向けた対応 .....	3-1
表 3.2 課題と今後の教訓 .....	3-2

## 略語集

略称	正式名称	和訳
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials	米国全州道路交通運輸行政官協会
AATE	Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao	リマとカヤオの大量電気輸送システム局
ASCE	The American Society of Civil Engineers	米国土木学会
CISMID	Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres	ペルー国立工科大学(UNI) 日本・ペルー地震防災センター
IGP	Instituto Geofísico del Perú	ペルー地球物理学研究所
ISO	International Organization for Standardization	国際標準化機構
LRFD	Load and Resistance Factor Design	荷重抵抗係数法
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones	ペルー国 運輸通信省
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento	ペルー国 住宅建設衛生省
PGA	Peak Ground Acceleration	地表面最大加速度
ToR	Terms of Reference	委託事項

## 第1章 概論

### 1.1 業務概要

#### 1.1.1 業務の背景

ペルー国（以下、ペルーと略記）の首都であるリマ市においては首都圏人口が 1,000 万人を越えており、市内における交通渋滞の慢性化が社会問題となっている。交通渋滞緩和のため、大量輸送公共交通としてリマ地下鉄 1-6 号線が計画をされている。1 号線は 2011 年より運営を開始しており、2 号線がコンセッション方式により建設中である。リマ地下鉄 2 号線は同国初の地下鉄案件であるが、その設計過程で、耐震設計に関する考え方において施主とコンセッショナー間において意見の相違があったことから、プロジェクトが遅延する事態となっている。これは、地震国であるペルーにおいては地下鉄などの地下構造物の設計、施工の経験が少なく、地下構造物の耐震設計に対する知見が少ないこと、地下構造物の耐震基準が整備されていないことに起因していると考えられる。リマ地下鉄 2 号線の実施機関であるペルー運輸通信省 (Ministry of Transportation and Communication, 以下 MTC) においては、2017 年 2 月に MTC 大臣が訪日をした際に地下構造物耐震に関する技術協力を日本国政府に対して要請した。その後、2019 年 2 月において、MTC はコンサルタントに委託し、地下構造物に対する耐震基準の策定作業を本格的に開始した。2019 年 7 月から 2020 年 3 月にかけて、国土交通省による調査として、ペルー側コンサルタント作成の耐震基準のレビューと MTC 等への耐震基準の知見共有が成された。一方、ペルーの地下鉄事業に関しては、基準が未整備なことに起因する事業遅延も以前継続中であり、地震国であり地下構造物の実績とその耐震設計基準を保有する日本国の支援により耐震基準を整備することが急務である。

#### 1.1.2 現状認識と課題

##### (1) 現状認識

2019 年 7 月から 2020 年 3 月にかけて国土交通省にて実施された調査においては、ペルー側から計 3 回の耐震基準に関するレポートが提出され、日本側による計 3 回の助言および現地渡航による協議がなされた。計 3 回のレポート内容とそれに対する日本側の主な助言内容について、表-1.1 に取りまとめた。

表 1.1 過去3回のレポートにおける記載内容と日本側の主な助言内容

回	レポートの内容	日本側の主な助言内容
1	耐震基準の最小コンテンツ	耐震基準内で記載すべき技術項目と耐震基準の流れに関する助言、日本の耐震基準に関する実例の説明
2	耐震基準の内容	耐震要求性能の考え方や検討法に関する助言、日本の耐震基準における耐震要求性能に関する実例の説明
3	耐震設計に必要な調査・試験法	耐震解析の流れに即した必要な調査試験法、耐震解析全体像を踏まえることの重要性に関する助言、日本の耐震基準における実例の説明

出典：調査団

## (2) 課題

本業務の業務指示書ならびに既往調査報告書等から、業務上の課題を以下のように4点抽出した。

1) 策定中の耐震基準において、基準全体像が未確定である。

表-1.1のとおり、耐震基準に関するレポートは、全7回のうち、3回は提出済みで、耐震基準内の記載内容、耐震要求性能案、耐震設計に必要な調査試験法案は提示されている。一方、基準を構成する技術項目ごとの内容は提示されるものの、一貫性を持った耐震設計の流れ、耐震設計上の核となる耐震解析法の提示がまだなされておらず、全体像が未確定である。

2) 日本側の助言に対する、各レポートにおけるペルー側の修正プロセスが不明確である。

2019年度の国土交通省の調査において、コミュニケーションツールとして、各レポートレビュー後、助言と指摘事項を一覧表に取りまとめ、それに対するペルー側の回答を得ることとした。しかしながら、レポート修正作業については、ペルー側コンサルタントに任されており、必ずしも日本側の指摘事項に関する十分な修正や意図した修正内容となっていないこともしばしば生じた。

3) 実施予定のワークショップのテーマ、内容の詳細が未確定である。

2019年度の国土交通省の調査において、ワークショップが開催され、主催者であるMTCほか、複数の関連機関が参加し、ペルーの地下鉄耐震基準に関し、意見交換が行われた。第4回レポート提出以降もワークショップが開催される見込みであるが、各回のワークショップのテーマ詳細と目的が未確定である。

4) 策定中の耐震基準の検証が必要であるが、具体的な検証プロセスや方法が未確定である。

耐震基準については、設計サンプルや試算を通じて、実務的に妥当なものであるか検証

を行うことが望ましい。2019年度の国土交通省の調査において、ペルー側は基準検証の必要性を認識しつつも、まだ具体的な検証プロセスや方法が未確定である。また、ペルー側が基準検証を実施する場合、ペルーで初の地下鉄耐震基準検証となることから、日本の耐震基準の知見を踏まえた、基準検証結果のレビューが必要である。

### 1.1.3 業務の目的

本業務では、ペルーで初めてとなる地下鉄耐震基準の策定を支援するとともに、日本における地下鉄耐震基準と耐震に関する知見の共有を行うことで、以てリマ都市交通システムの安全性向上に寄与することを目的とする。

## 1.2 業務の実施内容

本業務の実施内容は以下のとおりである。

- ・ 第4レポートの情報整理及び助言とりまとめ
- ・ 第4レポートに対するペルー側への助言
- ・ ペルー国住宅建設省（以下、MVCS）主催のオンラインセミナーへの参加
- ・ 第5レポートの情報整理及び助言とりまとめ
- ・ 第5レポートに対するペルー側への助言
- ・ 第6レポートの情報整理及び助言とりまとめ



## 第2章 業務実施結果

### 2.1 第4レポートの情報整理及び助言とりまとめ

ペルー運輸通信省（MTC）から、2020年10月14日に第4回目のレポート最終版を受け取り、そのレポートに対し、情報収集し、助言内容を取りまとめた。

#### 2.1.1 第4レポートの情報整理

第4レポートの記載された情報を下表に示す。レビュー対象とした文書は、「PROJECT OF DESIGN MANUAL EARTH RESISTANT OF BUILDINGS UNDERGROUND FOR THE ROAD INFRASTRUCTURE DSRESIV – 2021 RD N° XX-2020-MTC / 18」である。

表 2.1 第4レポートに記載された情報

章	タイトル	主な記載内容	該当頁（英文版）
前段	GENERAL	目的や参照した基準などの一般事項	P. 5-14
1章	DESIGN BASES	対象構造物の設計寿命や重要度や耐震要求性能、ダメージレベル等の耐震設計の基本事項	P. 15-28
2章	SEISMIC ACTION	地盤種別、工学的基盤、設計地震動に関する記載	P. 28-38
3章	GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE LAND	活断層、斜面安定、液状化等に関する記載	P. 38-39
4章	SOIL GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS	地盤強度、剛性や減衰等の地盤特性、現地調査や室内試験に関する記載	P. 39-47
5章	SEISMIC ANALYSIS AND DESIGN OF RETAINING STRUCTURES	擁壁の耐震解析・耐震設計 (解析法に関する具体的な記述はまだ無い)	P. 47-48
6章	SEISMIC ANALYSIS AND DESIGN OF UNDERGROUND STRUCTURES	地下構造物の耐震解析・耐震設計 (解析法に関する具体的な記述はまだ無い)	P. 48-54
付録	ANNEXES	参考情報、参考図書の記載	P. 55-75

出典：調査団

第4レポート内の5章、6章については、具体的な方法の記載は無く、第5レポート以降の内容となる。そのため、4章以前の情報に関してレビューを行った。

### 2.1.2 第4レポートの助言取りまとめ

第4レポートの助言として、レビューレポートとして取りまとめ、2020年11月13日にMTCに提出した。レビューレポート（レター）の内容を以下に示す。

JICA調査団は、ペルー運輸通信省（MTC）から、2020年10月14日に第4回目のレポート最終版を受け取り、そのレポートに対し、耐震基準の策定に関する観点でレビューしました。本レビューは、日本の耐震基準に採用されている、

- 1) 設計地震動を工学的基盤位置で設定するという考え方
  - 2) 性能設計の基本的な枠組み（ISO23469に準拠）
- の2点をペルーの耐震基準に取り入れたいという要望にしながら進めています。

1)については、 $V_s=800\text{m/s}$ の基盤層で設計地震動を設定し、これをトンネルの位置に応じて上昇・下降させることで、地震時応答評価を行う方針と理解しました。これは日本の耐震基準の考え方が取り入れられていると考えます。

2)については、いくつかの点で日本の耐震標準と異なっています。特に、現在提案されている5つの要求性能（Table 4に示されている性能マトリクス等）を維持したまま、我々の指摘に対応した場合、様々な箇所で不都合が生じる可能性があります（例えば、5つの要求性能に安全性や復旧性と思われる表現を混在させている点など）。また、日本の設計体系と著しく異なるため、その妥当性を我々が判断することも難しくなります。

そこで、下記の①～③の指摘をご確認いただき、ご提案の性能設計体系について、再度修正していただくことを強く推奨します。これらの指摘は、第1回渡航時より指摘していることと基本的に同じです。第2回渡航時のWork Shopでは、CISMIDやIGP等の参加者からも、日本式の性能設計体系がシンプルで分かり易いという評価をもらっています。もし、これらの指摘事項が修正して頂けない場合は、日本の性能設計の基本的な枠組みが、ペルーの耐震基準に取り入れられたとは言い難いです。

#### ① 要求性能の設定について

E030の3つの目標（要求性能）は、ISOなどでも示されている(a)安全性、(b)使用性、(c)復旧性に該当し、非常に明快です。一方で、レポートで示される5つの要求性能には、E030の3つの目標が混在しており、それぞれが独立した定義となっておりません。

例えば、Optimum Performance (PR1)には、使用性と考えられる項目（be used immediately）と安全性と考えられる項目（giving no sense of danger）が混在しています。このような要求性能の設定は、性能設計体系を非常に分かりづらい形にできてしまっています。

既存の基準との整合性や要求性能の明確さを優先し、E.030の3つの目標を要求性能として設定するのが最良です。

Optimum Performance (PR1):The construction undergoes only minimal effects, giving no sense of danger and can, therefore, be used immediately. Absolutely not any human affectation (no risk of injuries, no threaten to life at all

#### ② 5つの要求性能と5つの限界状態について

すべての構造物に対して、5つの性能を要求し、5つの限界状態に対して設計を課しています。日本でも2~3段階（機能上の安全性、構造安全性、復旧性）です。5段階の設計は、設計者に大きな

負担を掛けますし、設計コストも高騰します。E030 に従って要求性能を3つに絞り、多くても3段階の設計にするのが賢明です。

### ③ 性能マトリクスについて

ISO23469 では、要求性能に応じた設計地震動を設定するように記述されています。レポートでは、重要度毎に設計地震動を変えています。非常に違和感があります。例えば、I1 のトンネルは450年周期以上の地震で、I2 の構造物は950年周期以上の地震で、人命の安全性が担保されていないと考えられます。安全性はすべての構造物に平等に与えるべきです。使用性、復旧性についても、同じ設計地震動を使うべきです。重要度に応じて、性能を要求しない、または(1)で指摘する Limit Value を変えることで性能をコントロールすることが出来ます。

また、重要度の低い構造物に、すべての性能を要求することは過大と思われ。必要とされる性能と実際の運用を考慮して、構造物に要求する性能を規定すべきです。

上記を勘案すると、重要度に応じた要求性能は以下のように整理するのがよいと考えます。

I3：極大地震時でも人が亡くならない性能（安全性）、大地震に対して早期に復旧する性能（復旧性）、頻繁に発生する中規模地震に対してもすぐに使用できる性能（使用性）を満たす必要がある。

I2：極大地震時でも人が亡くならない性能、大地震に対して早期に復旧する性能は有するが、使用性を満たす必要はない。

I1：極大地震時でも人が亡くならない性能だけは有するが、使用性や復旧性を満たす必要はない。設計地震動との組み合わせとしては、下記のような性能マトリクスが例として挙げられます。この枠組みは下記のメリットがあります。

例	安全性	復旧性	使用性
地震動	2450年	950年	450年
I1	○	× or Loose	×
I2	○	○ or Loose	× or Loose
I3	○	○ or Severe	○ or Severe

○：性能を要求する、×：性能を要求しない、Loose：限界値を緩く設定する、Severe：限界値を厳しく設定する

- ・ 設計地震動は基本的に3種類用意すればよい。
- ・ 要求性能が明確で、使用者が容易に性能を理解できる。
- ・ 重要度に応じて合理的な設計ができる。例えば、重要度の高い構造物は、数日で復旧出来る損傷まで許容する、重要度の低い構造物は数ヶ月で復旧出来る損傷まで許容する、といったきめ細かい設定出来る。
- ・ 国際基準 ISO23469 に準拠している。

ただし、上記のマトリクスで重要度による構造物の違いが出るか、試設計で検証する必要があります。例えば、復旧性の照査が、安全性の照査を満たしていること

で満足できる場合、復旧性の照査を省略できてしまう可能性があります。また上記マトリクスは、あくまで例ですが、地震動の再現期間は少し大きい印象です。下記(3)でも指摘しますが、試設計を同時に進められることを薦めます。

上記の指摘と併せて、下記の点にもご留意ください。

#### (1) Global な Damage level と Local な Damage level について

要求性能に対して Limit State（構造物全体系の限界状態）を設定されているのは理解できます。一

方で、Global な Damage Level (構造物全体系の損傷レベル) を定量的に規定するのは難しいため、Table 5 に示しているように Global な Damage Level を用いて Limit State に達しているかを照査することは困難です。

日本の基準では、Global な Damage level と Local な Damage level (部材の損傷レベル)、が等価であると考えて設計します。その上で、Global な Limit State 以内に収めるまでの Limit value を構造物を構成する各部材に対して設定し、設計計算から求まる部材の Damage level が Limit Value 以内に収まることを確認することで、性能を照査します。

## (2) Limit Value について

Table 5 に示されている Steel strain limitation や Concrete strain limitation が Limit value に相当するのかもしれませんが。

ただし、Limit Value は部材の種類や位置によって異なります。たとえば、復旧しやすい位置にある部材であれば、復旧性のための Limit value は低く設定することが出来ます。また、Limit value は部材の種類や材料、構造形式等によって異なります。たとえば靱性の高い材料を使えば、Limit value を大きな変形までを伸ばすことができます。

この考え方を採用することで、新しく開発される材料や工法を容易に導入できるようになります。これが性能設計の大きなメリットの一つです。

レポートでは日本の基準では定量的な値が示されていないとされていますが、定量的には示すことが出来ないのです。その代わりに、Limit State を規定する Damage level の設定の仕方を示しています。

## (3) 検証について

応答値算定法が示されていましたが、概念的で、実際にどのように実施するのか分かりません。策定する性能照査手法で、適切な構造物が設計できるのか、検証解析を実施することを推奨します。策定期間が限られていますので、策定と同時に進められるのが良いと考えます。

## 2.2 第4レポートに対するペルー側への助言

第4レポートに対し、ペルー側へ助言を行った。助言は、2020年11月から2021年1月にかけて、WEB会議を用いて行った。主な助言内容は以下のとおりである。

### (1) 第4レポートレビューに関する助言

第4レポートレビュー結果に基づき、WEB会議にてMTCに説明した。プレゼンテーション資料を付属資料-01に示す。

### (2) 基準検証の必要性に関する助言

第4レポートレビュー結果に基づき、WEB会議にてMTCに説明した。プレゼンテーション資料を付属資料-02に示す。

### (3) MTCの意見

上記の助言を受けて、MTCは以下のような意見を示した。それを下表に示す。

表 2.2 MTCの意見

項目	内容
策定中の基準について	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基準はペルー全土で使用できるもので、適度な自由度（フレキシビリティ）が必要である。</li> <li>・ペルーでは、プロジェクトの経済評価基準があり、費用便益評価が必要となっている。そのため、建設コストや経済性にも配慮して耐震基準を作成してほしい。</li> <li>・日本側とペルー側で共通の設計クライテリアを作成してほしい。</li> <li>・既に存在するメトロ1号線と2号線ともある程度整合性のとれる基準とする必要がある。</li> <li>・第6レポートで技術的な部分を完成させるため、日本側調とペルー側との間で、密に会議を行い、基準策定を進めることとする。第6レポートの議論を通じ、ペルー側コンサルタントと日本側との間の技術的な見解の相違がなくなることを目指している。</li> </ul>
基準の検証について	<ul style="list-style-type: none"> <li>・耐震基準の検証の必要性を理解した。基準検証の実施に関してはMTC内で検討する。</li> <li>・耐震基準の検証の必要性に関する公式ドキュメントを日本側で作成してほしい。ドキュメントの送付先はGeneral Director宛としてほしい。</li> </ul>

出典：調査団

耐震基準の検証については、以下の点を助言した。

-検証作業はペルー側コンサルタントが行う必要は必ずしも無く、ペルー国内の大学教授や民間企業でも対応できること。

-検証作業は基準策定と同時並行で進めることが望ましいこと、検証に半年程度に時間が必要であること。

-リマ2号線を例題に考えており、各図面、各材料定数のデータをMTCが用意すること。

## (4) 調査団とペルー側コンサルタントとの技術的な相違点

2020年12月18日のWEB会議において明らかとなった、調査団とペルー側コンサルタントの技術的な相違点を以下に示す。

表 2.3 JICA 調査団とペルー側コンサルタントとの技術的な合意点と相違点

	JICA 調査団の主張	ペルー側コンサルタントの主張
設計地震動の基盤について	設計地震動について、工学的基盤の露頭波で表現するという点で合意した。	
耐震性能マトリクスについて	<ul style="list-style-type: none"> <li>-設計地震動の再来期間を変更するのではなく、初めに要求性能を明確に規定すべきである。</li> <li>-構造物の重要度に関わらず、人命保証に関する安全性を耐震性能に入れるべきである。</li> <li>-日本の基準では設計地の状況に応じて経済性を考慮した設計を行っている。</li> <li>-日本の基準では想定外の大きい地震動も考慮し、最大級の地震動 (L2 地震動) を設定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-自由度、フレキシビリティにかける。管理者による選択の余地が無い。一方、ペルー側のマトリクスは設計地震動の再来期間を変更することができるフレキシブルなマトリクスとしている。</li> <li>-安全性を全ての重要度で考慮する点に合意できない。</li> <li>-ペルーでは安全性は重要度に応じて選択可能とし、経済的な構造物を構築することが望まれる。</li> <li>-日本式の最大級の地震動という設計地震動として採用する考え方は取らない。</li> </ul>
基準の検証について	リマ地下鉄2号線の耐震設計では、①運行を阻害しない、②構造物が崩壊しないといった2段階の性能で設計をされているようだが、策定中の耐震基準案では5段階の性能になっている点が問題であり、検証が必要であると指摘した。	リマ地下鉄2号線の耐震設計で用いた手法が策定中の耐震基準案であるため、既に検証が成されている。

出典：調査団

## 2.3 第5レポートの情報整理及び助言とりまとめ

ペルー運輸通信省（MTC）から、2020年12月23日に第5回目のレポート最終版を受け取り、そのレポートに対し、情報収集し、助言内容を取りまとめた。

### 2.3.1 第5レポートの情報整理

第5レポートの記載された情報を下表に示す。レビュー対象とした文書は、「PROJECT OF MANUAL FOR EARTHQUAKE-RESISTANT DESIGN OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS FOR ROAD AND RAILWAY INFRASTRUCTURE DSRESIV – 2021 RD N° XX-2020-MTC/18」である。

表 2.4 第5レポートに記載された情報

章	タイトル	主な記載内容	該当頁（英文版）
前段	GENERAL CONSIDERATIONS	目的や参照した基準などの一般事項	P. 11-19
1章	BASIS OF DESIGN	対象構造物の設計寿命や重要度や耐震要求性能、ダメージレベル、設計荷重等の耐震設計の基本事項	P. 20-31
2章	SEISMIC ACTION	地盤種別、工学的基盤、設計地震動に関する記載	P. 32-42
3章	GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE LAND	活断層、斜面安定、液状化等に関する記載	P. 43-44
4章	SOIL GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS	地盤強度、剛性や減衰等の地盤特性、現地調査や室内試験に関する記載	P. 45-50
5章	SEISMIC ANALYSIS AND DESIGN OF RETAINING STRUCTURES	擁壁の耐震解析・耐震設計 (解析法に関する具体的な記述はまだ無い)	P. 50-51
6章	SEISMIC ANALYSIS AND DESIGN OF UNDERGROUND STRUCTURES	地下構造物の耐震解析・耐震設計、 数値解析法に関する記載	P. 52-67
付録	ANNEXES	参考情報、参考図書の記載	P. 68-92

出典：調査団

レポート全体にわたり広範にレビューを行うとともに、第4レポートで合意に至っていない1章の耐震要求性能の定義、6章の記載が追加されたので、それらに関するレビューも行った。

### 2.3.2 第5レポートの助言取りまとめ

第5レポートの助言として、レビューレポートとして取りまとめた。レビューレポート（レター）の内容は以下のとおりである。なお、ペルー側とのWEB会議（2021年1月～5月）にかけて行い、その内容を踏まえ、レビューを取りまとめた。そのため、レビューレポート提出日は2021年5月28日である。

以下のレターでは、2021年5月時点で協議中である内容を含んでいる。

JICA調査団は、ペルー運輸通信省（MTC）から、2020年12月23日に第5回目のレポート最終版を受け取りました。そして、「PROJECT OF MANUAL FOR EARTHQUAKE-RESISTANT DESIGN OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS FOR ROAD AND RAILWAY INFRASTRUCTURE DSRESIV - 2021」に対し、耐震基準の策定に関する観点でレビューしました。

本レビューの指摘事項について、一部の指摘事項については現在もなお協議中であり、作成中の耐震基準の中で記載内容の変更が生じている場合があるため、その点に留意してください。

日本側のレビューのスタンスは、ペルー側の以下の2つの要望に対応して、実施しています。

- 1) 設計地震動を工学的基盤位置で設定するという考え方の導入
- 2) 性能設計の基本的な枠組みの導入（ISO23469に準拠）

以下では、レポート各章についての指摘事項を示しています。

#### 1. 1章について

##### (1) 1-3章について

【指摘事項 1-1】 Page22, 表1（5/13時点で協議中の指摘事項）

重要度を3段階とすることはMTCと合意できていますか。どのような構造物をI1、I2、I3に当てはめるのか、基準の中に記述することが必要である。

##### (2) 1-4章について

【指摘事項 1-2】 Page22, 1.4, 上から13～15行目

「設計者は性能要求のみにフォーカスし、ダメージレベルや限界状態は概念的な参照である」とありますが、逆ではないでしょうか。設計にあたっては、ダメージレベルや限界状態の具体的な記載が重要だと考えます。

【指摘事項 1-3】 Page23, 9行目～（5/13時点で協議中の指摘事項）

PR1～PR4,FPの5つの性能が示されていますが、E030で示されている安全性、復旧性、使用性に関わる項目がそれぞれの要求性能に分散しています。例えば、安全性に関する部分が赤字、復旧性に関する部分が緑、使用性に関する部分を青字で示しています。このような要求性能の示し方は、説明が難しいですし、混乱を招きます。

Optimum Performance (PR1).

The construction undergoes only minimal effects, giving no sense of danger and can, therefore, be used immediately. Absolutely not any human affectation (no risk of injuries, no threaten to life at all).

Good Performance (PR2).



The construction undergoes moderate effects, being **reasonably easy and economical to repair**. No human affectation (**no risk of significant injuries, no threaten to life**).

Safety Performance (PR3).

The construction undergoes significant damage but remains safe. Little human affectation (**low risk of significant injuries, no serious threaten to life**).

No Collapse Performance (PR4).

The construction undergoes very important effects, but it can still be **safely evacuated**; noticeably, this affects the stairs, escalators and elevators. Moderate human affectation (**important risk of significant injuries, not high threaten to life**). Road and railway tunnels) can be transited by emergency vehicles and convoys, respectively; in railway tunnels, this affects to the facilities (mainly, the electric power supply. To allow for this transit, clearance restrictions (space proofing) might apply, mainly for road tunnels.

Functional Performance (FP).

Construction can **recover most of its ability to function in a reasonably short time (a few days)**.

#### 【指摘事項 1-4】 Page24, Table2

Table 2 はコンサルタントが提案する要求性能を E030 と対応させた表ですが、このような対応にはならないと思います。たとえば PR2 は E030 の(b)に当たるとしていますが、PR2 には怪我や生命の危険についても言及されているのに対して、E030(b)では復旧性についての言及のみにとどまっています。上記の指摘にも関連しますが、このような安全性と復旧性が混在した記述は混乱を招きます。

Table 2. Correspondence between the proposed Performance Requirements and those of [E.030 2019]

Performance Requirement	[E.030 2019] (3.2)
PR1	-
PR2	(b) The structure should withstand ground motions classified as moderate for the site, being able to experience repairable damage within acceptable limits
PR3	(a) The structure should not collapse or cause serious damage to people, although it could present important damage, due to qualified ground motions classified as severe for the site
PR4 FP	(c) Maintain functionality

ここで定義している Damage Level と Limit State は Local (部材) なのか、Global (構造物全体系) なのか判断出来ません。Figure 2 では横軸が Curvature になっているため Local の定義と読み取れますが、文中の Damage level と Limit State は Global を示す記述になっています。

構造物全体系の損傷レベルは、どの部材がどの程度損傷しているかに依存します。例えば、中柱が Damage Level 3 に達するのと、中層梁が Damage Level 3 に達するのでは、構造全体系の損傷に与える影響は前者の方が遙かに大きくなります。したがって、部材の Damage Level と構造物の Limit State は 1 対 1 に対応しません。

Damage Level と Limit State、要求性能を再検討してください。

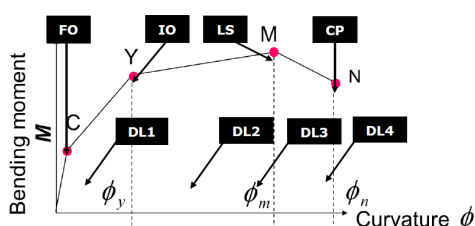


Figure 2. Example of modeling the nonlinearity of a reinforced concrete element in the Japanese design code

- **Negligible Damage (DL1).** The structure has only slight damage and can be clearly economically repaired, allowing continuous operation.
- **Limited Damage (DL2).** The structure has only moderate damage and still can be economically repaired. Permanent lateral displacements (drifts) are negligible, the ability to resist new earthquakes is intact, and the structural elements experience only a slight stiffness reduction. Non-structural elements can also be economically repaired.
- **Significant Damage (DL3).** The structure has significant damage, perhaps with moderate permanent drifts, but still retains a good part of its resistant capacity. Non-structural elements are damaged but maintain their integrity.
- **Generalized Damage (DL4).** The structure has serious damage but still maintains some resistant capacity. Most non-structural elements are heavily damaged or destroyed.
- **Functional Damage (FD).** The construction functionality may be seriously interrupted but can be restored quickly.
- **Fully Occupationally (FO).** This Limit State corresponds to Negligible Damage (DL1).
- **Immediate Occupancy (IO).** This Limit State corresponds to Limited Damage (DL2). In cut-and-cover tunnels with box section, the bound for the drift is 1%, for the tensioned steel strain is 0.002, and for the compressed concrete strain is 0.003.
- **Life Safety (LS).** This Limit State corresponds to Significant Damage (DL3). In cut-and-cover tunnels with box section, the bound for the drift is 2%, for the tensioned steel strain is 0.02, and for the compressed concrete strain is 0.006.
- **Collapse Prevention (CP).** This Limit State corresponds to Generalized Damage (DL4). In cut-and-cover tunnels with box section, the bound for the drift is 4%.

Performance requirement	Damage Level	Limit State	Drift Limitation	Steel Strain Limitation	Concrete Strain Limitation
PR1 (Optimum Performance)	ND (Negligible Damage)	FO (Fully Occupationally)	-	-	-
PR2 (Good Performance)	LD (Limited Damage)	IO (Immediate Occupancy)	1	0.002	0.003
PR3 (Safety Performance)	SD (Significant Damage)	LS (Life Safety)	2	0.002	0.006
PR4 (No Collapse Performance)	GD (Generalized Damage)	CP (Collapse Prevention)	4	-	-
PRO (Functional Resilience)	FD (Functional Damage)	-	-	-	-

【指摘事項 1-5】 Page24, Table2

・ Table2 の対応関係には認識の誤りがあるように感じます。正しくは、下記ではないでしょうか。

PR1 : (c) Maintain functionality

PR2, FP : (b) The structure should withstand ground motions classified as moderate for the site, being able to experience repairable damage within acceptable limits

PR3, PR4 : (a) The structure should not collapse or cause serious damage to people, although it could present important damage, due to qualified ground motions classified as severe for the site

・ PR1 の要求性能は、現在のペルーにおける構造物の経済性や解析精度といった観点から運用可能か？

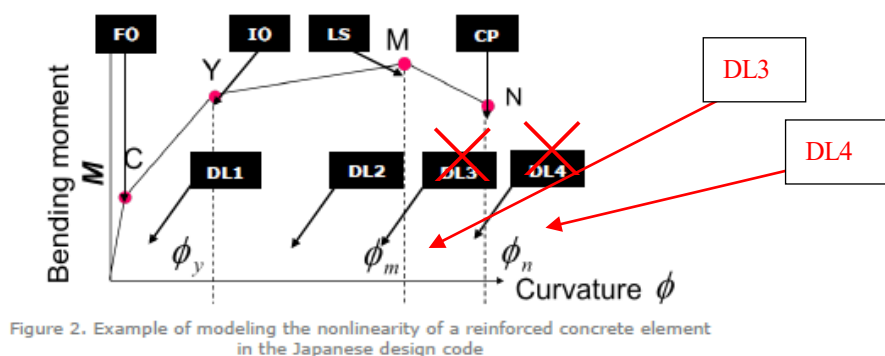
・ 突き詰めれば、復旧性、安全性という2つの要求性能に帰着するように思う。いたずらに要求性能を増やすべきではないと考える。一方で、1つの要求性能に対してダメージレベルについて2つ以上を設定することは反対はしない。

【指摘事項 1-6】 Page24, 上から 8～11 行目, Finally,  
各要求性能は包含関係にあると書かれている。であれば No3 に指摘したとおり、1 つの要求性能にまとめてはどうか。

【指摘事項 1-7】 Page24, 下から 8～5 行目, The negligible  
ここに記載されている内容は Table2 と異なっている。No3 で指摘した対応関係と同じである。

【指摘事項 1-8】 Page25, Figure2

鉄筋コンクリート構造物の場合、DL3、DL4 が厳しすぎます。



【指摘事項 1-9】 Page26, 上から 2～4 行目, Noticeably, the  
ここに記載されている内容は誤りではないか。

【指摘事項 1-10】 Page26, 中間

- **Fully Occupationally (FO)**. This Limit State corresponds to Negligible Damage (DL1).
- **Immediate Occupancy (IO)**. This Limit State corresponds to Limited Damage (DL2). In cut-and-cover tunnels with box section, the bound for the drift is 1%, for the tensioned steel strain is 0.002, and for the compressed concrete strain is 0.003.
- **Life Safety (LS)**. This Limit State corresponds to Significant Damage (DL3). In cut-and-cover tunnels with box section, the bound for the drift is 2%, for the tensioned steel strain is 0.02, and for the compressed concrete strain is 0.006.
- **Collapse Prevention (CP)**. This Limit State corresponds to Generalized Damage (DL4). In cut-and-cover tunnels with box section, the bound for the drift is 4%.

とありますが、ひずみの値が小さく、日本より厳しい耐震性を要求していることとなります。つまり、日本の基準より不経済な設計を行うこととなります。日本では以下のようなひずみを用いています。日本の基準では、材料は、耐震設計とは異なる基準で規定されています。

鉄筋の降伏ひずみ

- SD295  $\epsilon_y=0.0014$
- SD345  $\epsilon_y=0.0017$
- SD390  $\epsilon_y=0.0019$
- SD490  $\epsilon_y=0.0025$

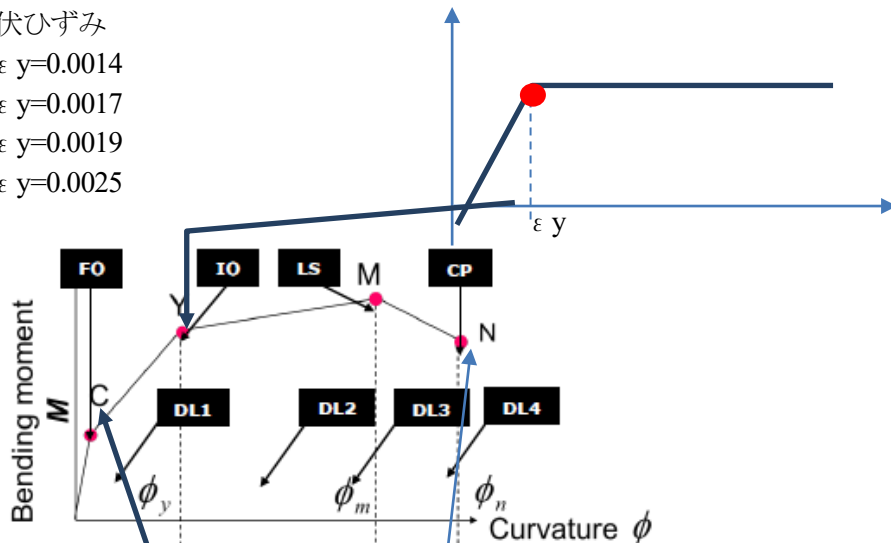
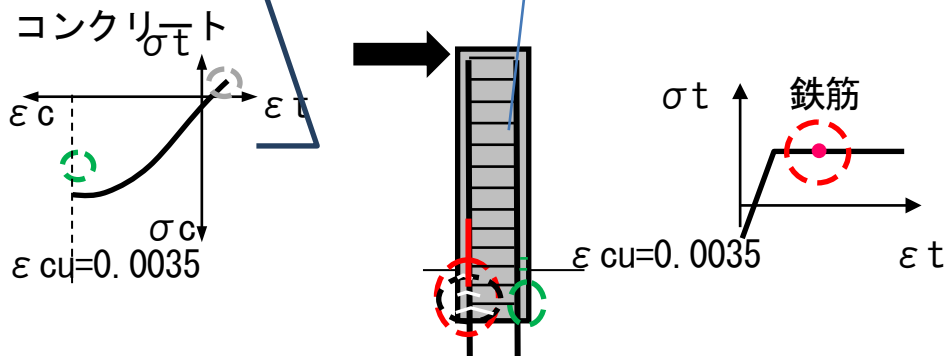


Figure 2. Example of modeling the nonlinearity of a reinforced concrete element in the Japanese design code



【指摘事項 1-6】 Page26, Table3

Table 3. Correspondence between the Performance Requirements, Damage Levels and Limit States

Performance requirement	Damage Level	Limit State	Drift Limitation	Steel Strain Limitation	Concrete Strain Limitation
PR1 (Optimum Performance)	DL1 (Negligible Damage)	FO (Fully Occupational)	-	-	-
PR2 (Good Performance)	DL2 (Limited Damage)	IO (Immediate Occupancy)	1	0.002	0.003
PR3 (Safety Performance)	DL3 (Significant Damage)	LS (Life Safety)	2	0.002	0.006
PR4 (No Collapse Performance)	DL4 (Generalized Damage)	CP (Collapse Prevention)	4	-	-
FP (Functional Performance)	FD (Functional Damage)	-	-	-	-

【日本の耐震設計法の説明】

常時の応答：▲

地震時に構造物の崩壊を避けるために許される最大応答：● (X)

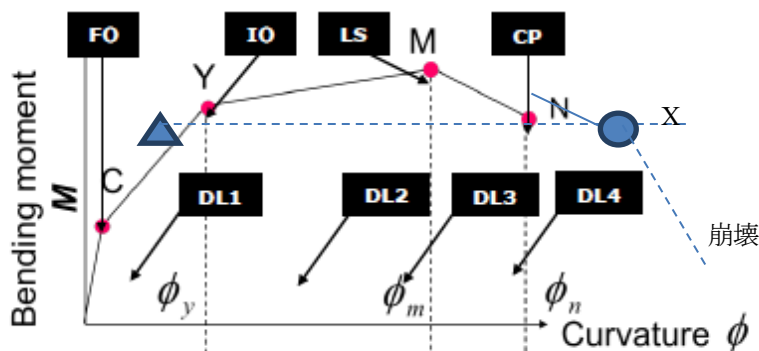


Figure 2. Example of modeling the nonlinearity of a reinforced concrete element in the Japanese design code

地震時の最大応答を M 点や N 点に収めておくことで、設計地震動より大きな地震動が作用しても構造物の崩壊を避けることができる。

重要度の低い構造物は地震時に大きな変形を許すことで経済性に配慮する。

・PR1 や PR4, FP について表の記載に欠けがあるが、これはいずれ埋められるということで良いか。何らかの理由で現時点で具体的な数値が入られないということであれば、設計が混乱する恐れがあるので、導入を見送ることも考えるべきである。

(2) 1-5 章について

【指摘事項 1-11】 Page 26, 最後の文章

I3 についても Special の Design Level を要求するのでしょうか？構造物の重要度と Design Level の関係を示してください。

(3) 1-6 章について

【指摘事項 1-12】 Page 27～Page 30 Table 6 まで

Table 4 で示されているように、設計地震動の再来期間を変更することで構造物のスペックを変えようという考えだと思いますが、線形解析を前提とした設計手法になります。構造物の重要度に応

じて、受ける地震動が異なるというのは違和感があります。

非線形解析による設計を前提とするとのことですので、構造物の重要度に依らず、同じ設計地震動を用いて、部材の損傷レベルの限界値を重要度に応じて設定することでスペックを変えることが可能です。

Table 4. Return period (years) and probability of exceedance of the associated seismic actions in 100 years (%)

Performance Requirement	Operational Importance		
	I1	I2	I3
PR1	60 (80%)	110 (60%)	195 (40%)
PR2	110 (60%)	195 (40%)	450 (20%)
PR3	195 (40%)	450 (20%)	950 (10%)
PR4	450 (20%)	950 (10%)	2450 (4%)
FP	195 (40%)	450 (20%)	950 (10%)

Non-Structural element も考慮に入れて照査を行うと記述されていますが、Non-Structural element の応答値をどう求めるのでしょうか？また、限界値はどのように設定するのでしょうか？FP も Non-Structural element の照査が必要になるのでしょうか？

5つの要求性能を満たす構造物を設計するのは大変ではないとのことですが、AASHTO や日本の基準、リマメトロ 2号線で採用された2～3の要求性能を満たす構造物を設計するよりも大変な作業を伴うことは必然です。そのまま設計者への負担、設計コストの高騰にも繋がります。なぜ、5つの要求性能にこだわるのか理解できません。

- **Design vs. number of Limit States.** Regarding the design, the number of verifications to be carried out (five) does not represent any significant increase in the difficulty and extension of the design process; on the other hand, it is quite simple to design structures that satisfy all these demands, since they are "scaled" in a natural way (the more severe the seismic action, the more accepted damage). In relation to this last statement, the usual process is to separate the verification of the ultimate and service limit states. In the ultimate limit states, the structure is designed to satisfy the Safety Performance (PR3), and subsequently the verification of the No Collapse Performance (PR4) is guaranteed by providing sufficient ductility; this is usually achieved with widely known structural detailed criteria (consistent with the provisions in section 1.5). The serviceability limit states (corresponding to PR1 and PR2) are subsequently checked, paying attention not only to the structure itself but also to the non-structural elements. Finally, the Functional Performance Requirement (FP) is verified. In summary, not only is it not difficult to design constructions that meet the five aforementioned Performance Requirements (PR1-PR4 and FP), but what is actually complicated is to find examples of constructions meeting only some of such requirements.

#### 【指摘事項 1-13】

再現年数を用いて設計地震動を設定することについては合意しましたが、Table4 のように重要度に応じて設計地震動を変えることには合意していません。例えば、以下のように重要度に応じて、性能を変えれば、重要度に応じて設計地震動を変える必要はありません。重要度が低いほど大きな変形を許容しており、経済性に配慮しています。また、このような設計を行うのであれば、構造物の非線形解析を行う必要があります。地震に対して粘り強い構造物になっていることを確認するためには、非線形解析が必要です。

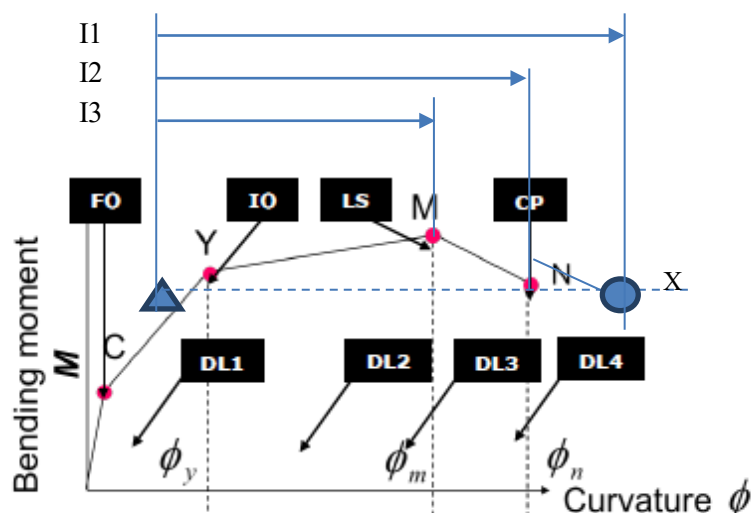


Figure 2. Example of modeling the nonlinearity of a reinforced concrete element in the Japanese design code

【指摘事項 1-14】 Page27, 1.6, 上から 9～12 行目, The Performance  
ここに記載されている内容はトンネルのような構造物は、全て I3 の重要度で設計すべきということか。I2 を部分的に変更することを考えているのか。

【指摘事項 1-15】 Page27, 1.6, 上から 13 行目, Table4 is  
これ以降に記載される議論は、4th レポートまでの日本調査団のレビューに対する返答であり、マニュアルに記載するような内容ではない。マニュアルの作成とこれまでのレビューへの応答は分けて対応してほしい。

【指摘事項 1-16】 Page29, Table5  
Table 5 において、FP は日本の基準における復旧性に相当すると記述されています。一方で、日本の基準における機能上の安全性が FP に包含されるとも記述しています。FP に、復旧性と安全性が混在していることになり、非常に混乱します。  
また Table 5 では、PR4 は構造上の安全性に対応するとなっていますが、Table 2 では FP と同じ E030 の Maintain Functionality のカテゴリーになっています。一連の 5 つの性能の説明に多くの矛盾があります。

Table 5. Correspondences between the Japanese regulation and the proposed Manual

Seismicity		Performance Requirements		
L1 ≈ T = 450 years	L2 ≈ T = 2450 years	Functional Safety ⊂ FP*	Structural Safety ≈ PR3-PR4	Restorability = FP

\*Functional Safety is included into FP

コンサルタントの提案する基準は AASHTO を参照しているとしていますが、Table 6 にコンサルタントが示しているように AASHTO でも 2 段階の設計をしています。リマメトロ 2 号線の設計においても、①運行を阻害しない、②構造物が崩壊しないという 2 段階の設計を行っているとのことでした。世界的に 5 つの要求性能に対する 5 段階の設計を課している設計基準はありません。なぜ、今後のペルーでは 5 段階の設計が必要なのでしょう？

この要求性能はトンネルだけでなく、他の構造物にも波及します。慎重に決定すべきです。E030 や他基準との整合も考慮し、安全性、復旧性、使用性の 3 つの要求性能にまとめるのが最良と思います。

Seismicity		Performance Requirements	
FEE $\approx$ T = 100-500 years	SEE $\approx$ T = 1000-2500 years	FEE $\approx$ Good Performance (PR2)	SEE $\approx$ Safety Performance (PR3)

・この表のような対応関係を認めているのであれば、コンサルタントが提案するような曖昧な要求性能を増やすべきではないと考える。

【指摘事項 1-17】 Page29, 下から3～1行目

ペルー側の定義では、FEEはPR1、SEEはPR3もしくはPR4に対応する。PR2やFEに関係するような構造物の復旧に関する性能はない。

【指摘事項 1-17】 Page28,

「L1 and L2 might be considered to correspond to return periods 450 and 2450 years.」の記載について、日本の基準では再来期間でL1およびL2地震動を決定していないので記載を削除されたい。

## 2. 2章について

【指摘事項 2-1】 Page 38 2.3の最初の文章

Engineering Bedrockを規定するのに、設計地震動はEngineering Bedrockで規定することによっていか？（Engineering Bedrockの定義は、 $V_s=800\text{m/sec}$ で合意した。）

【指摘事項 2-2】 Page 42 Figure 5.

Engineering Bedrock内のトンネルは耐震設計されるのでしょうか？

【指摘事項 2-3】 Page35, 下から6～1行目

主張としては理解できるが、Sのきちんとした説明もなく唐突な記載である。また、解説中に計算例のようなものが入っているのは不適切であり、一般的な式を提示すべきである。

【指摘事項 2-4】 Page36, 2.1.4, 上から13～15行目

日本では400m/sが工学的基盤に相当する。S2の下限である180m/sでは柔らかすぎる。

【指摘事項 2-5】 Page36, 2.2

設計スペクトルの形状に関する記載があるが、図面等で表現する必要がある。

【指摘事項 2-6】 Page37, 下から20～15行目, Based on

これまでの考察に一切言及がないのに、突然、確率論的手法と確定論的手法について言及がされている。また、市街地では確定論的手法を使用するようであるが、このような根拠は何か。これまで議論していた再現期間との対応関係はどのように整理するのか。

【指摘事項 2-7】 Page38, 上から14～20行目, The deterministic

地震動の具体的な評価については問題ないと思いますが、マニュアルにおける実際の運用方法が不明です。

- ・確定論的評価の場合には、性能マトリクスに記載の再現期間との対応はどのようにするのか。
- ・確率論的評価における時刻歴波形はどのように設定するのか。
- ・確率論的評価は、ゼノン博士が行うのか？設計者が行うのか？設計者が行う場合、設計者により評価結果が変わる恐れがある。すなわち、設計地震動の統一性が保たれなくなる恐れがある。



**【指摘事項 2-8】 Page41, Figure4, Page42, Figure5**

この図に記載される工学的基盤位置の地震動はどのように評価されるのか。また、ここまでも地表面位置の地震動や増幅の評価について記載があるが、Figure4,5に記載の方法ではそれらは不要であると考えられる。この方法を実施するためには、工学的基盤を地盤調査により確認する必要があるが、そのような理解で良いか。

**【指摘事項 2-9】 Page38、2.3 章**

3つないしは7つの加速度記録の選び方が不明である。各設計者が自身で加速度記録を選択するのか？設計者に応じ、選択する加速度記録のばらつきが生じる恐れがあり、設計地震動の統一性が保たれないことを危惧する。

**【指摘事項 2-10】 Page40、2.5 章**

今までの議論では、 $k=0.3$ は不適であると結論したのではなかったか？改めて、0.3の採用根拠を確認したい。

## 3. 3章について

**【指摘事項 3-1】 Page 44 3.3**

どのように液状化の危険性を判定されるのでしょうか？液状化判定法を記載すべきであり、日本の耐震基準を参考とした方が良い。

## 4. 4章について

**【指摘事項 4-1】 4章全般**

ここに示されている調査や試験はペルーで実施可能な試験なのでしょうか？

**【指摘事項 4-2】 4章全般**

5章の解析で地盤バネを設定されるようですが、どのように設定するのでしょうか？

**【指摘事項 4-3】 Page.45, 4.1 章**

Seismic refraction techniquesでは、地層の $V_p$ 分布までは分かるが、Water Table Levelまでは推定できないと考える。 $V_p$  1500m/secの層をWater Table Levelと評価するのか？

**【指摘事項 4-4】 Page.49, Table 11.**

表の取りまとめ方は良いと思うが、表に網羅されていることで、設計者がその調査すべてを行うべきと誤認しないか？無駄な調査コスト増大は避けるべきとの意図からの指摘である。必要最低限実施すべき手法を記載したり、調査地に合わせた調査法の記載など、基準の使用者に対し分かりやすく工夫したほうが良い。

## 5. 5章について

**【指摘事項 5-1】 Page.51,**

この版で完成でしょうか？もしくは、第6レポートで追加されるのでしょうか？

## 6. 6章について

**【指摘事項 6-1】 6章全般**

地盤の解析はすべて引き戻し解析で実施するのでしょうか？

**【指摘事項 6-2】 6章全般**

鉛直方向の地震動に対しても応答計算をされるのでしょうか？その場合、鉛直方向の地震動は、P.37にある通り、水平動のスペクトルの2/3として設定する根拠は何か？

【指摘事項 6-3】 Page 66, Table 14

Table 14 I3の構造物に対しても、PGA>0.45の場合はDynamic Generalの応答値算定法を用いるのでしょうか？

【指摘事項 6-4】 Page53, Figure6

Figure4,5に記載の内容とは異なり、地表面からの引き戻しを行っている。地盤が非線形化する場合には不適切である（収束計算に用いる解析コードによって結果が大きく変わるのが現状）。また、引き戻しにおいても基盤までの地盤構造の情報は必要となるため、基盤から引き上げたほうが良い。

【指摘事項 6-5】 Page53, Figure6

【指摘事項 2-7】 および【指摘事項 2-9】と重複するが、Figure6(a), (b)の設計応答スペクトルおよび7つの時刻歴波形の設定法が不明である。設定のクライテリアが必要ではないか？

## 7. レポート全体について

【指摘事項 7-1】

ANNEXに、耐震解析に必要な地震動の設定を含め、設計計算事例を入れるべきである。ANNEX.Lに今後記載される予定か？

【指摘事項 7-2】 Page68, ANNEX B

上部の建築物との整合性との観点からも、耐震要求性能をE030と整合すべきではないだろうか。

以上

## 2.4 第5レポートに対するペルー側への助言

### (1) 第5レポートレビューに関する助言

第5レポートレビュー結果に基づき、2020年1月において、WEB会議にてMTCに説明した。プレゼンテーション資料を付属資料-03に示す。

### (2) オンラインセミナーの開催

下記に示すよう要領で、現地のオンラインセミナーを実施した。セミナー資料を、付属資料-04～06に示す。

## 1. 開催概要

### (1) 日時

2021年3月12日(金) 22:00～24:00 (日本における登壇・発表時間)

### (2) セミナー名

SEMINARIO DE DISEÑO SÍSMICO  
(「耐震設計セミナー」)

### (3) セミナー主催者

ペルー国運輸通信省 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, MTC)

### (4) セミナー形式

Teamsによる登壇・発表、質疑応答

### (5) ペルー側の参加機関、参加者数

計23機関(参加機関は表2.5参照、事前の参加登録機関を含む)  
セミナー時の延べ参加者数:146名

## 2. プログラムと発表内容

### (1) プログラム

セミナープログラムを次頁に示す。

### (2) 発表タイトル

日本側の発表タイトルを以下に示す。また、発表資料を別添資料-3～5に示す。

- 1) Diseño basado en Desempeño Sísmico  
(耐震性能に基づく設計)  
発表者: 井澤淳氏 (公益財団法人 鉄道総合技術研究所)
- 2) Sismo de Diseño  
(設計地震動)  
発表者: 田中浩平氏 (公益財団法人 鉄道総合技術研究所)
- 3) Análisis Estructural del Diseño Sísmico  
(耐震設計のための構造解析)  
発表者: 荒木繁雄氏 (日本シビックコンサルタント(株))

## SEMINARIO DE DISEÑO SÍSMICO

### PRESENTACIÓN

En el marco de la cooperación técnica del Gobierno de Japón con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones para la elaboración de la “Norma de Diseño de Estructuras Subterráneas Sismorresistente para Infraestructura Vial”, la Dirección General de Políticas y Regulación en Transporte Multimodal está organizando el “Seminario de Diseño Sísmico” que será desarrollado por el equipo de especialistas de Japón, quienes explicarán las características de la norma sísmica japonesa para el análisis estructural y el diseño basado en el desempeño, con el fin de difundirla y ponerla a consideración de los profesionales de entidades con actividades afines al diseño de estructuras y análisis sísmico del Perú.

**FECHA:** 12 de marzo, 2021

**HORA:** 8:00 am (hora de Lima) y 21:00 horas (Tokio)

**MEDIO DE DIFUSION:** Trasmisión virtual

### PROGRAMA:

HORA	ACTIVIDADES
7:50 – 8:00	Apertura del evento y verificación de participantes
8:00 – 8:05	Bienvenida y saludo - Director General de Políticas y Regulación en Transporte Multimodal – Sr. Fernando Cerna
8.05 – 8.10	Saludos del Sr. Takeharu Nakagawa, Representante Residente de JICA
8:10 – 9:10	Presentación de la Norma Sísmica Japonesa (Equipo de Especialistas Japoneses: 60 min., incluye traducción) <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Diseño basado en Desempeño Sísmico</b> (15 min.) Dr. Jun Izawa Railway Technical Research Institute</li> <li>2. <b>Sismo de Diseño</b> (15 min.) Dr. Kohei Tanaka Railway Technical Research Institute</li> <li>3. <b>Análisis Estructural del Diseño Sísmico</b> (30 min.) M.Sc. Shigeo Araki Nippon Civic Consulting Engineers Co. Ltd.</li> </ol>
9:10 – 9:25	Preguntas y respuestas (15 minutos)
9:25 – 9:30	Cierre del seminario – Director de Políticas y Normas en Transporte Ferroviario – Ing. Ángel Bottino

表 2.5 ペルー側の参加機関(事前の参加登録機関を含む)

区分	番号	機関名
政府等公 共機関	1	Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)
	2	Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Departamental Lima (CPLIMA)
	3	Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (ATU)
	4	Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID)
	5	Instituto Geografico del Perú (IGP)
	6	Provias Nacional (PVN)
	7	Provias Descentralizado (PVD)
大学	8	Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)
	9	Universidad Nacional del Centro, Huancayo (UNCP)
	10	Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA)
	11	Universidad Nac. San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)
	12	Universidad de Lima (ULIMA)
	13	Universidad San Martín de Porres(USMP)
	14	Universidad Privada del Norte, Lima (UPN)
	15	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)
	16	Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)
	17	Universidad César Vallejo (UCV)
	18	Universidad Federico Villarreal (UNFV)
	19	Universidad Nacional de Cajamarca (UNC)
	20	Universidad de Piura (UDEP)
	21	Universidad Ricardo Palma (URP)
	22	Universidad San Ignacio de Loyola (USIL)
	23	Universidad de Catalunya Reyno España *スペイン

## (3) 第5レポートに関するMTCの意見

上記の助言を受けて、MTCは以下のような意見を示した。それを下表に示す。

表 2.6 第5レポートに対するMTCの意見

項目	内容
策定中の基準について	<ul style="list-style-type: none"> <li>・目標として、ペルーの技術の現状に合わせるとともに、日本の専門性を持ち合わせた基準を作りたいと考えている。 (2021年4月23日の会議)</li> <li>・対象構造物の重要度に関しては、地域で重要度を定義するのではなく、周辺構造物への影響も考慮すること、既存の基準やマニュアルと用語を統一すること、分類をペルーの既存の基準やマニュアルに合ったものとする事との指摘がMTCからなされた。 (2021年5月7日の会議)</li> </ul>

出典：調査団

## (4) 調査団の耐震要求性能マトリクスの例示

MTCより、調査団が考える耐震要求性能マトリクスを提案してほしいとの依頼が出されたため、ペルーの建築物の耐震基準であるE030<sup>1</sup>と橋梁のマニュアル<sup>2</sup>を考慮した、耐震性能マトリクスを作成し、ペルー側へ例示した。例示に用いた説明資料を付属資料-07に示す。

2021年5月7日の会議においてMTCからJICA調査団に対して、重要度の定義を提案してほしいとの要望が出された。日本側としては、重要度の定義は基本的に日本の耐震基準に基づく場合があること、具体的な定義までの提案は難しくあくまで考え方の例示となること、ペルーの既存の基準やマニュアルに可能な限り整合することを表明し、MTCの了解を得た。

ポイントは以下のとおりである。

- ・重要度はペルーの橋梁マニュアルに基づき、Critical, Essential, Othersの3つに区分する。性能は、橋梁マニュアルにおける緊急車両および一般車両の走行性に着目した2つの性能、それに加えて、建築の耐震基準のE030に基づき、安全性の1つ性能の計3つの性能を設定する。設計地震動は、ペルーの既存基準に即して、再来期間2500年と1000年の地震動とする。また、限界状態は3つの設定とする。

<sup>1</sup> <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/259580-043-2019-vivienda>

<sup>2</sup> <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/257462-19-2018-mtc-14>

#### (5) 第5レポート改訂版レビューに関する助言

その後、調査団の意見を踏まえ提出された第5レポート改訂版について、レビューを行い、ペルー側へ助言したレビューレポートを抜粋して以下に示す。

JICA 調査団は、ペルー運輸通信省（MTC）から、2021年8月3日に第5レポート改訂版 (editable version) を受け取りました。そして、この「PROJECT OF MANUAL FOR EARTHQUAKE-RESISTANT DESIGN OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS FOR ROAD AND RAILWAY INFRASTRUCTURE VIAL Version for the withdrawal of the objections to the 5th Report」に対し、耐震基準の策定に関する観点でレビューしました。

本レビューは、日本の耐震基準に採用されている、

- 1) 設計地震動を工学的基盤位置で設定するという考え方
- 2) 性能設計の基本的な枠組み（ISO23469 に準拠）

の2点をペルーの耐震基準に取り入れたいという要望にしたがって進めてきました。

1)については、 $V_s=800\text{m/s}$  を工学的基盤として設計地震動を設定すると合意していましたが、改訂版第5レポートでは地表面で設定するとされています。

2)については、要求性能毎に設計地震動を設定し、許容する損傷レベルで性能をコントロールする手法を再三説明し、現在の **Bridge Manual** に適用した例なども示してきました。しかしながら、改訂版第5レポートにおいても、設計地震動を変化させることで構造物のスペックをコントロールするという、設計の枠組みを採用するという考え方となっています。

このレポートは“設計マニュアル”に近く、性能設計を取り入れた“基準”の形にはなっていないように思います。性能設計基準（法律）を目指すのであれば、構造物の目的、そのために必要な機能、機能を発揮するために必要な性能を明確に示し、その性能を照査するための標準的な手法を示す形にするのだと思います。

2017年以降、我々調査団が想定してきた設計基準の形になっていないことは非常に残念ですが、当調査団からの個別の指摘事項を次頁以降に示しますので、各指摘事項の採否についてご判断ください。

#### (1) 1章に関する指摘事項

- ・ P.25: Performance Requirement はランクを示す指標ではなく、構造物の目的、機能に応じて求められる性能ではないでしょうか？
- ・ P.25: ここで示されている Damage Level は、構造物全体系のことでしょうか？ Damage Level の考え方が、我々が指摘してきた日本の考え方とは異なります。日本では、Damage Level は部材の損傷を表します。構造全体系の Damage level (ND,LD,SD,GD) を部材の Damage Level で規定するのでしょうか？構造全体系の Damage level=Limit State であれば、構造全体系の Damage level を定義する必要はあるのでしょうか？
- ・ P.25: RO を満たす場合、構造物は弾性以内にとどまっていると思います。Operation 再開までに数時間かかるのは、非構造部材の復旧のためでしょうか？
- ・ P.25: AS は人命に関わる性能だと理解していますが、なぜ緊急車両の運行可能性まで含めているのでしょうか？
- ・ P.26, Table 1: E030 に示されているように「(b)moderate な地震に対して修復可能、(a)severe な地震に対して崩壊せず、深刻な人身被害を引き起こさない」となっています。目標性能毎に、考慮する地震動レベルを考えている表現になっています。AS, NC などの要求性能毎に地震動を設定されたほうがよいと思います。
- ・ P.27:[ In this sense, if the lateral (transversal) rigidity of the structure were increased, the drift would be difficult to reduce, and probably a greater rigidity would result in a more severe structural damage;]は必ずしも言えないのではないかと？
- ・ P.29:Figure 2 は部材毎の Damage level を示しています。それまでの Damage level の説明と整合していません。
- ・ P.31:様々な部材がある中で、Table 3 のように限界のひずみを規定してしまつてよいの



でしょうか？性能設計の考え方から外れるのではないのでしょうか？限界のひずみを示すのであれば、例として Annex に入れるべきではないのでしょうか？

- ・ P.31: Table 3 の限界のひずみが同じのため、IO と RO は同じ要求性能になるのではないのか？
  
- ・ P.32: Table 4 については、今までの議論のとおり賛成はできません。理由は以下のとおりです。
  - ・ 設計地震動は要求性能と対であること
  - ・ 安全性は重要度に依らず一律であるべき
  - ・ そもそも要求性能の定義が曖昧
  
- ・ P.32: Table 4 に示されている設計地震動の取り扱いに関し、補足が多いように思います。これは混乱の元になります。よりシンプルな性能設計の枠組みとされた方がよいと思います。
  
- ・ P.32: Table 4 で設計地震動を示されていますが、Table 2 や Table 3 より前にある方が理解しやすいと思います。
- ・ P.36: Bridge manual では建設中の構造物は Others に区分されると話されていましたが、本マニュアルでは建設中の構造物は I1 に含まないということでしょうか？
- ・ P.36: 建設中の構造物は 195 年の地震動を使って、何を確認するのか？

## (2) 2章に関する指摘事項

- ・ P.39, Table 6: S0 を AVS30 が 1500m/s 以上としている。工学的基盤を  $V_s=800\text{m/s}$  で定義しているので、S0 は工学的基盤が露頭していると考えたと、800m/s 以上とした方が自然ではないか？
- ・ P.43: リマでは確定論的地震動を使うという記述があるが、これはどの要求性能に対する照査に使う地震動なのか？ Table 4 との関係が不明である。
- ・ P.43-44: 設計地震動の時刻歴と Table 4 に示されている地震動との関係が不明確です。
- ・ P.43: これも以前の指摘事項にあったが、7つの地震動はどのように選択しているのか。例えば、地盤が非線形化するかもしれない地震動（中程度、大程度）では、構造物への影響が小さい側（危険側）の7つを選択してしまうかもしれない。3つもしくは7つの地震動設定のクライテリアが必要ではないか？
  
- ・ P.44: 3 or 7 accelerograms can be taken とありますが、地震動波形は要求性能と対をなすものなので、設計基準の中でペルーの実情に合わせて地震動設定の根拠と手順を明確に示すか、または標準波形を示すのがよいと思います。また、地震動の設計応答スペク

トルは決めないのですか。

- ・ P.46-47,figure4,5:以前の指摘事項にもあったが、figure4, 5 で工学的基盤の部分は Vs が同じ数値のような図に見える、地震動は Vs の変化に応じて増幅するので、工学的基盤以深で引き戻しは必要ないのではないかと？

(3) 3章に関する指摘事項

- ・ 特に無し

(4) 4章に関する指摘事項

- ・ 特に無し

(5) 5章に関する指摘事項

- ・ P.56:想定している retaining wall の構造を図示してください。日本の場合と形状が異なっていて、議論がかみ合わなくなることを避けたいです。
- ・ P.56:The need to take into account the inertia forces とありますが、日本では、地震時に慣性力の影響が大きくなる擁壁構造と地盤変位の影響が大きくなる擁壁構造があります。

(6) 6章に関する指摘事項

- ・ P.57:it is preferable that it be treated individually as special cases, as in customary in Japan.とありますが、読者は日本の基準の事を知りません。具体的な記述が必要です。
- ・ P.58:引き戻し解析は工学的基盤までを対象に行うのか？
- ・ P.57-58:First step. The free-field seismic motion.....it is proposed to carry out linear-equivalent depropagation analyses and continue the process until a sufficient level of convergence is reached. 等価線形化法を用いることが提案されています。自由地盤の応答を求める時だけ等価線形化法を用いるのですか？
- ・ P.59:Figure6 において応答スペクトルをフィッティングさせた地震動波形を 7 波形考慮するのですか。また、鉛直動も考慮するのですか。
- ・ P.60:Figure7 において 3rd step から 1st step に戻るのではなく、2nd step に戻るのではないのですか。
- ・ P.60:it will be supplemented with American documents とありますが、具体的に記述すべきです。

- ・ P.60:It should be borne in mind that, even in the absence of soil liquefaction, uplift situations may occur, so these situations must be verified.とありますが、タイトルが Analysis of Underground Structures for Gravity Actions であり、記載箇所として不適切ではないですか。
- ・ P.62:6.5 Seismic Analysis in Transverse Direction これ以降の記述を読んでも具体的な計算方法がわかりません。つまり耐震設計を行うことができないと思います。
- ・ P.63:6.5.1 の方法は自由地盤のひずみと構造物のひずみと同じになるという考え方でしょうか。構造物の配筋をどのようにして照査すれば良いのかわかりません。また、This operation must be carried out in relation to the seismic motions in horizontal and vertical directions.とありますが、鉛直方向の地震動が Figure9 の変形にどのように影響しているのか理解できません。
- ・ P.64: In particular, when the overburden depth is low, the Mononobe-Okabe formulation (Annex) will be used.とありますが、物部岡部はどの深度まで用いて良いのか使い分けの方法を教えてください。また、物部岡部では地盤のひずみはわからないと思います。
- ・ P.65:Pseudo-Static Approach は日本では用いていない方法だと思います。この記述では解析方法が理解できません。ペルーの技術者がこの方法で耐震設計を行うことができるのでしょうか。
- ・ P.67:Figure10 において、(a)は Figure9 との違いがわかりません。(b)は地表で決めた地震動を引き戻して、入力しているのでしょうか。解析のイメージをつかむことができません。
- ・ P.67,Figure10:Figure10 では、応答スペクトルから横方向の変位を入力しているように見える。応答スペクトルからどのように入力する変位を計算しているのか。
- ・ P.69:Figure11 のような計算で設計した実績があるのでしょうか。動的解析の結果と比較する検証作業が必要だと思います。Figure11 において地盤ばねのつけ方が間違っています。地盤ばねは計算方法を記載する必要があると思います。
- ・ P.72, Table11:(1) basic (or control) formulation (subsection 6.5.1), (2) pseudo-static formulation (subsection 6.5.2), (3) simplified dynamics formulation (subsection 6.5.3), and (4) general dynamic formulation (subsection 6.5.4)のうち、(1)(2)(a)は地盤バネを考えないのか？
- ・ 4つの手法それぞれで、適切な応答が算出可能か？4手法から得れる結果の相互比較が必要である。
- ・ P.72:Table11 ですが、Second step (Soil-Structure Interaction)と Third step (Structural design)を別のステップに区分する理由がわかりません。FEM で地震時の断面力を算出すれば良いのではないですか。線形と非線形をどのように使い分ければ良いのかがわか

りません。部材の損傷領域を照査するのであれば、構造部材は非線形性を考慮してモデル化すべきで、ペルーで使用可能な非線形性のモデル化の方法の記述が必要だと思います。

- ・ 地盤の非線形性を考慮するための構成式（非線形性と復元力特性）
  - ・ 地盤と構造物との相互作用を考慮するための要素の特性
  - ・ 構造物の非線形と復元力特性をモデル化するための梁要素の特性
- ・ P.73:Table 12 は加速度だけで解析法を決めて良いのか？構造条件、地盤条件の複雑さに依るのではないのか？一般的な条件の場合の推奨手法を決めておいた方がよいのではないのか？
- ・ P.73:Table12 の計算は、4つの要求性能に対して7波形を考慮して行うのか。PGAによって計算方法を変えているが、計算方法を変えると耐震設計結果が逆転する場合が考えられる。PGAによって計算方法を変えて良いのか疑問がある。また、再現期間とPGAの関係の記載をこのマニュアル中に見つけられなかった。
- ・ P.73,Table12:線形解析・非線形解析を選択するときの判断はTable12に従っている。Vs30が大きな値であっても、Vsの小さな層が存在し、加速度が極端に低減する場合にはどうするのか。ペルーの地盤は比較的均一であることが多いのか？

#### (7) 7章に関する指摘事項

- ・ 非構造部材に関して特にコメントしません。ただし、非構造部材の性能についてもこの基準で責任を持つのか、十分に検討してください。

#### (8) ANNEXに関する指摘事項

- ・ P.80-81:[ it is very strong when the ground is significantly stiffer and stronger than the structure, and much weaker otherwise [Wang 1993]. In any case, this increase can completely nullify the resistance gain produced by the increase in rigidity.]は必ずしも正しくない。「地盤と構造物の剛性や強度のバランスが重要になる。
- ・ P.81-82:大開駅の崩壊原因については様々な論文が発表されているため、誤認されている論文が多いようである。せん断破壊抑止が重要であることを正確に示すべきである。せん断補強は上下端だけでなく、柱全域が必要である。
- ・ P.92:付録Kの内K2はペルーでは用いていないトンネルの構造形式なので、適用可能な条件に関する記述が必要である。
- ・ P.97:ANNEXに、耐震解析に必要な地震動の設定を含め、設計計算事例を入れるべきである。ANNEX.Oに今後記載される予定か？
- ・ P.86-87:Annex D,Fは本マニュアルに含めるべき内容か、再考が必要である。
- ・ P.88:Annex G,Hのみで液状化判定、浮き上がり判定できるのか？

End of documents

(6) 調査団とペルー側コンサルタントとの技術的な相違点

第5レポート改訂版との協議を踏まえ、調査団とペルー側コンサルタントの技術的な相違点を以下に示す。

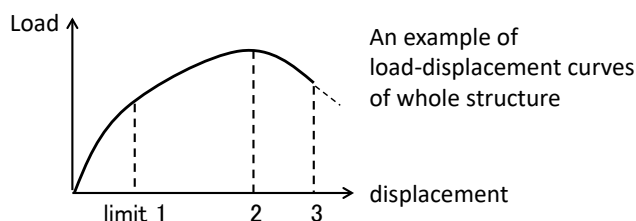
表 2.7 JICA 調査団とペルー側コンサルタントとの技術的な合意点と相違点

	JICA 調査団の主張	ペルー側コンサルタントの主張
耐震性能マトリクスについて	構造物の性能は、重要度毎に設定する要求性能（許容する損傷レベル）でコントロールする。	ペルー側コンサルタント（DISEPRO）：構造物の性能は、重要度毎に設計地震動を変動させてコントロールする。

出典：調査団

性能マトリクスの違いを下図に示す。

(日本側の考える性能マトリクス)



Performance Req.	Serviceability 2	Serviceability 1	Safety
Return period of the design earthquake	2500 years	1000 years	2500 years
Critical	be used by emergency vehicles <b>(limit 2)</b>	open for all types of vehicles <b>(limit 1)</b>	not collapse or cause serious damage to people <b>(limit 3)</b>
Essential	—	open for emergency Vehicles <b>(limit 2)</b>	
Others	—	—	

(ペルー側の考えるマトリクス)

Table 4. Minimum return period (years) and probability of exceedance of the associated seismic actions in 100 years (%)

Performance Requirement	Operational Importance		
	I1 (Other Infrastructures)	I2 (Essential Infrastructures)	I3 (Critical Infrastructures)
IO	60 (80%)	110 (60%)	195 (40%)
RO	110 (60%)	195 (40%)	450 (20%)
AS	195 (40%)	450 (20%)	950 (10%)
NC	450 (20%)	<b>950 (10%)</b>	2450 (4%)

図 2.1 例示する耐震性能マトリクスの違い

ペルー側コンサルタントの主張する性能マトリクスについての調査団の見解は、以下のとおりであり、業務終了までペルー側と合意するにいたらなかった。

非線形解析に基づく最近の耐震設計基準のほとんどは「構造物の耐震性能は、重要度に応じて設計地震動を変更することなく、重要度に応じて要求性能（または許容する損傷レベル）を設定することによってコントロールする」という思想に基づいている。また、現在ペルーで使われている **Bridge Manual** も、この思想に従って組み替えることができる。

一方、ペルー側コンサルタントは「重要度に応じて設計地震動を変更することにより、構造物の性能をコントロールする」という概念のもと、基準を策定しているが、その考え方は、線形解析が主流であった 20～30 年前に使用されていたものである。

非線形解析をベースとした近年のほとんどの基準では、地震動を変動させて性能をコントロールするという考え方は取られていない。この考え方は、線形解析が主流だった 20～30 年前の古い考え方であるとする。

リマメトロ 2 号線の建設において、構造物の重要度と設計地震動（再現期間）の設定でコンセッションネアと AATE の間で齟齬が生じ、建設が遅延した事実を鑑みれば、設計地震動を変えるという作業は、非常に難しい判断が伴うことが想定される。設計地震動を変動させて性能をコントロールすること、さらには、地震動をフレキシブルに変動出来ることをペルー側は提案しており、そのような考え方を採用した場合、リマメトロ 2 号線の建設と同じ関係者間での理解の齟齬が起きるのではないかと危惧する。

## 2.5 第6レポートの情報整理及び助言とりまとめ

ペルー運輸通信省 (MTC) から、2022 年 2 月上旬に第 6 回目のレポートが提出されるよう、ペルー側に要請したが、本業務の履行期間には、提出されなかった。

ペルー側からは、2021 年 1 月に性能マトリクスに対する質問状が提出されたため、以下のよう回答した。

2022 年 1 月 6 日に MTC より問い合わせのあった性能マトリクスに関する質問についてお答えします。今回の回答も以前からお伝えしていることと同じです。

非線形解析に基づく最近の耐震設計基準のほとんどは「構造物の耐震性能は、設計地震動に応じて設計地震動を変更することなく、重要度に応じて要求性能（または許容する損傷レベル）を設定することによってコントロールする」という思想に基づいています。また、2021.5.19 のミーティングで説明したように、現在ペルーで使われている Bridge Manual も、この思想に従って容易に組み替えることができます。

一方、コンサルタントは「重要度に応じて設計地震動を変更することにより、構造物の性能をコントロールする」という概念のもと、基準を策定しています。現在、MTC はコンサルタントの基準を正当化するために、コンサルタント案と同じ考えが採用されている基準を探しているかと思えます。しかし、その考え方は、線形解析が主流であった 20~30 年前に使用されていたものです。このような考え方を策定中の基準に採用した場合、リマメトロ 2 号線の耐震設計と同様のトラブルが発生する可能性があることを危惧しています。したがって、この思想を改めて頂かない限り、合意することは出来ません。

なお、本業務の TOR では、以下の 3 つの基準を参照することが記述されています。

- Design Standard for Railway Structure and Commentary, Seismic Design, 2012
- AASHTO (2017): LRFD Road Tunnel Design and Construction Guide Specifications
- ISO23469 (2005): Bases for design of structures -- Seismic actions for designing geotechnical works.

この TOR は本業務をスタートする以前に、MTC と JICA 調査団で 2017 年に作成したものです。JICA 調査団はこの基本合意に従い、アドバイス業務を行ってきました。コンサルタント案はこれらの基準の考え方に反する内容になっており、TOR を満たしていないことから、合意することは出来ません。

Table 2-1 から明らかなように、ASCE / SEI 41-17 では BSE-1E、BSE-2E という 2 つの地震動を設定し、重要度毎に要求する性能を選択することで構造物の性能をコントロールしています。重要度に応じて地震動を変えることで性能をコントロールしようというコンサルタントの思想と根本的に異なっています。

2021 年 10 月 14 日の打ち合わせで説明したように、Model Code の 3 章において、非線形解析を用いる場合は、構造物の重要度に応じて設計地震動は変えず、要求性能（許容する損傷レベル）を変えるという考え方が明確に示されています。非線形解析を用いる場合も、重要度に応じて地震動を変えることで性能をコントロールしようというコンサルタントの思想と根本的に異なっています。

これらのガイドラインでは、非線形挙動を想定した“Deformation-controlled action”と弾性挙動を想定した“Force-controlled action”の 2 つのアクションを示しています。図 2、図 3 は、“Force-controlled action”の項で示したものです。弾性的な挙動を考えているので、Risk Category 毎の性能を制御するには設計力を変更するしかないのです。

これらのガイドラインについては詳細に確認していませんが、ASCE7-16 をベースとしているため、他の ASCE 規格と同じ思想、つまり、「非線形解析を用いる場合、重要度に応じて設計地震動を変えず、要求性能（あるいは許容する損傷レベル）でコントロールする」という思想は同じはずです。

E030 は弾性設計をベースにしているので、性能をコントロールするためには地震動の変えるしか性能をコントロールする方法がないのです。今回策定中の基準は非線形解析をベースとされていますので、地震動を増減させる必要がありません。

E030 は性能設計の枠組みにはなっていませんが、ペルーでは重要な耐震設計基準として認識されているようです。今回策定中の基準で示す要求性能については、E030 に示されている 3 つの目標性能を参照することを推奨します。

以前から繰り返し申し上げているとおり、非線形解析をベースとした近年のほとんどの基準では、地震動を変動させて性能をコントロールするという考え方は取られていません。この考え方は、線形解析が主流だった 20～30 年前の古い考え方です。

リマメトロ 2 号線の建設において、構造物の重要度と設計地震動（再現期間）の設定でコンセッションアと ATE の間で齟齬が生じ、建設がストップしてしまいました。設計地震動を変えろという作業は、非常に難しい判断が伴います。コンサルタントは、設計地震動を変動させて性能をコントロールすること、さらには、地震動をフレキシブルに変動出来ることを提案しています。そのような考え方を採用した場合、リマメトロ 2 号線と同じトラブルが起きるのではないかと危惧しています。



## 2.6 ペルー国住宅建設省（MVCS）主催のオンラインセミナーへの参加

ペルー国住宅建設省（以下、MVCS）主催のオンラインセミナーへの参加し、プレゼンテーションを行った。プレゼンテーション資料を添付資料-08～09 示す。

オンラインセミナーの概要は以下のとおりである。

### 1. 開催概要

#### (1) 日時

2020年10月30日（金） 22：30～24：00 （日本における登壇・発表時間）

#### (2) セミナー名

Seminario Internacional “Gestión del Riesgo de Desastres y adaptación al cambio climático para ciudades seguras, resilientes e inclusivas”

(国際セミナー「災害リスク管理と安全で回復力のある包括的な都市のための気候変動への適応」)

#### (3) セミナー主催者

ペルー国住宅建設省 （Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento）

#### (4) セミナー形式

Google Meet による登壇・発表、Youtube による配信

#### (5) 参加者数

約 600 名 （発表時の Youtube の視聴者数）

### 2. プログラムと発表内容

#### (1) プログラム

国際セミナープログラムを資料-1 に示す。10/29（木）、30日（金）（ペルー時間）の2日間にわたって行われた。

#### (2) 発表タイトル

日本側の発表タイトルを以下に示す。

#### 1) Elaboración de la norma técnica de diseño sismorresistente de estructuras subterráneas

(地下構造物の耐震設計のための技術基準の作成)

発表者：井澤淳氏（公益財団法人 鉄道総合技術研究所）

2) Planeamiento de transporte en ciudades- Caso Lima Metropolitana

(都市の交通計画-リマ市のケース)

発表者：望月篤氏（日本工営株式会社）

(3) 発表のアーカイブ

当セミナーの WEB サイト、発表のアーカイブは以下のとおりである。

■国際セミナーの WEAB サイト

<https://sites.google.com/vivienda.gob.pe/grdycambioclimatico/seminario>

■発表のアーカイブ（Youtube のアーカイブ）

<https://www.youtube.com/watch?v=OIeil98Lmp0>

## 第3章 業務上の課題とその対応、および今後の教訓や提言

### 3.1 業務上の課題と対応

業務上発生した課題について、以下の対応および工夫を行った。

表 3.1 業務上の課題と課題解決に向けた対応

業務上発生した課題	課題解決に向けた対応
ペルーの既存の設計基準は、米国の基準をベースとしており、それらとの関連性に配慮する必要が生じた。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レビューレポートの作成にあたっては、ペルーの既存の設計基準である、建築耐震基準（E030）と橋梁マニュアルを参照し、耐震性能や設計地震動設定、限界状態設定との整合性に配慮した。</li> <li>・日本の鉄道基準、米国や欧州の耐震基準をレビューし、各基準で設定される耐震性能、設計地震動、限界状態等と比較し、それらとの関連性を念頭に置き、レビューした。</li> <li>・ペルーの橋梁マニュアルをベースに、どのように組み換えれば、調査団が考える性能規定型のマニュアルとなるかを例示し、説明した。</li> </ul>
耐震基準案のレビューについては、性能規定から設計・解析の多岐にわたるため、総合的な観点でのレビューが必要であった。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日本工営内の地盤および耐震を専門とするシニアの設計技術者2名から、業務の進め方や技術的なアドバイスに関する支援を受けた。</li> <li>・性能規定、設計、解析に関して、調査団員の所属組織である鉄道総研内や日本シビックコンサルタントの専門家に適宜アドバイスを受け、レビューコメントを作成した。</li> </ul>
日本側の指摘事項を簡潔に説明し、基準に対するペルー側の理解促進、問題点の認識共有する必要が生じた。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レビューレポートの表書きにおいて、レビューコメントにおけるポイントとなる指摘事項を整理のうえ説明し、ペルー側の理解促進に配慮した。</li> </ul>
ペルー側参加のワークショップでは、政府関係者から大学関係者まで、幅広い参加者に日本の鉄道基準を紹介する必要が生じた。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ワークショップでは、日本の耐震性能設計の成り立ちを紹介するとともに、鉄道基準による耐震解析、設計の事例を紹介することで、日本の知見を共有するとともに、ペルー側の耐震基準に関する理解を深めるように配慮した。</li> </ul>
基準策定のレビューにあたり、ペルー側政府関係者との間で、日本側の指摘事項の理解や、耐震基準に対する共通理解を醸成する必要が生じた。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・MTCの質疑に答えるためのリモート会議を複数回開催した。</li> <li>・ペルー側の既存基準策定に知見のある日本・ペルー地震防災センター(CISMID)の学識経験者のオーソリティとして参画を依頼し、会議において日本側のレビュー情報共有、ペルー側との認識共有に努めた。</li> </ul>
新型コロナウイルス感染症の影響により、現地渡航が制限された。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ペルー側とは計20回を超えるリモート会議を行い、密なコミュニケーションを取ることで、耐震基準に対する認識共有を醸成するよう心掛けた。</li> </ul>

出典：調査団

### 3.2 今後の教訓や提言

本業務を進めていくうえで、以下の問題点が顕在化した。今後、日本の設計基準を海外へ展開していくうえで、今後の教訓として参考とされたい。

表 3.2 課題と今後の教訓

番号	問題点	業務中に遭遇した出来事	今後の教訓
1	策定中の耐震基準において、MTCの考える基準全体像が業務当初から変わってきた。	<ul style="list-style-type: none"> <li>ペルー側コンサルタントの作成する基準案が ToR で想定された基準全体像と異なっていた。例えば、ToR では安全性と復旧性の耐震性能の規定を求めているが、ペルー側コンサルタントの作成案にはそれらにあたる性能規定の記載は認められなかった。</li> <li>当初の全体像に沿った日本側のコメントに対して、ペルー側コンサルタントが方針を変えなかったことから、MTC の方針も徐々に変わってきた。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本業務は、2019年3月渡航時の JICA と MTC の合意内容がベースとなり、日本側が提案した ToR が採用されている。</li> <li>ToR に沿った業務履行は相手国政府の管轄であり、相手国政府の ToR 理解とマネジメント能力向上も必要と感じた。</li> <li>以下の 6 のとおり、相手国政府の策定体制の整備を必要である。</li> </ul>
2	日本側の助言に対する、各レポートにおけるペルー側の修正プロセスが不明確であった。	マンスリーレポート等により、修正の進捗やプロセスの提出を求めた。しかし、ペルー側の契約上の問題により、マンスリーレポートの提出までには至らなかった。	対象国の契約条項に、日本側への修正プロセス開示を盛り込むべきである。
3	基準策定状況に関係者に共有するための、継続的なワークショップの開催ができなかった。	日本側の指摘事項の修正がなされず、ペルー側コンサルタントとの間で、基準記載内容の合意ができなかった。そのため、策定中の耐震基準に関するワークショップが継続的に開催できず、計1回にとどまった。	<ul style="list-style-type: none"> <li>ワークショップにおいて基準策定状況を詳らかに共有することは、相手国の意向次第であると感じた。</li> <li>イニシアチブを取り、日本の耐震基準の基本とその応用事項（設計事例）を複数回セミナー形式で行い、日本の知見を相手国に伝えることも1つの案と考える。</li> </ul>
4	策定中の耐震基準の検証が必要であるが、具体的な検証プロセスや方法が未確定であった。	ペルー側コンサルタントにおいては、リマ2号線の設計が出来れば十分との認識であった。	設計基準策定と設計事例の編纂はセットで行うことを ToR 等で規定する必要がある。
5	日本側の指摘事項が十分に反映されず、同様な指摘が繰り返されることとなった。	<ul style="list-style-type: none"> <li>ペルー側コンサルタントの性能設計に関する理解が進まず、Web 会議で継続的に指摘を行ったが、改善されなかった。</li> <li>MTC と委託者（ペルー側コンサルタント）との契約において、日本側の立ち位置や指摘事項に関する項目が明確に記載されていなかった。</li> </ul>	日本側の指摘事項が、一定の効力があるように、相手国政府と委託者の契約書内に盛り込む必要がある。
6	MTC 側において、耐震基準を評価、	基準作成には高度な技術的判断が伴うため、日本側はペルーの学識経験者が参	基準策定は委託者のみでなく、ペルー側の学識計経

	判断出来る体制が整わなかった。ペルー国内の学識経験者も基準策定に参画すべきであった。	画を求めた。結果として、ペルーの建築基準策定に関与した日本・ペルー地震防災センター(CISMID)の学識者が業務当初に1回のみ、会議で意見交換することができた。ただし、その後、ペルー側の予算の都合上、継続的な参画が認められなかった。	験者や対象構造物の管理者も含めた委員会形式が良いと考える。(今回はペルー側コンサルタント側の一人の方の意見が色濃く反映された基準が策定されている) ・日本の専門家は委員会の1メンバーとして参画することも一つの案である。
--	--	--	--

出典：調査団

## 付属資料-01

### 第4レポートに対するプレゼンテーション資料

#### 第4レポートに関する助言

## Introducción

---

El Equipo de Estudio de JICA recibió la versión final del cuarto informe del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) del Perú el día 14 de octubre de 2020 y revisó este informe teniendo en consideración la formulación de la norma sísmica del Perú. Esta revisión se desarrolló con base en la voluntad por la parte peruana de incorporar los siguientes dos puntos de la norma japonesa en la norma sísmica peruana:

- 1) Concepto sobre el establecimiento del movimiento sísmico de diseño a nivel del lecho rocoso de ingeniería
- 2) Esquema básico del diseño basado en el desempeño. (compatible con ISO23469)

1

## Introducción

---

Con respecto al punto 1), hemos entendido que se propone realizar el análisis de respuesta sísmica aplicando el movimiento sísmico de diseño en un estrato base con  $V_s=800\text{m/s}$ , y elevar o bajarlo según la ubicación del túnel. Consideramos que en este punto se está aplicando el concepto de la norma sísmica japonesa.

En lo que concierne al punto 2), se encuentran varios puntos que difieren de la norma sísmica japonesa. En especial, si se adoptan nuestras recomendaciones manteniendo los cinco requisitos de desempeño sísmico que actualmente se proponen dentro del informe (como la matriz de desempeño en la Tabla 6), es probable que en varios puntos ocurran incoherencias. (Por ejemplo, se utilizan en forma mezclada las expresiones que suponen “seguridad” y “recuperabilidad” dentro de los cinco requisitos de desempeño sísmico). Además, se trata de un sistema de diseño muy diferente del sistema japonés, lo cual se nos hace difícil evaluar su validez.

2

# Introducción

Por consiguiente, lo que recomendamos es que se verifiquen los puntos (1) a (3) consignados a continuación, y se revisen una vez más el sistema de diseño basado en el desempeño que se propone. Estas observaciones son básicamente, los mismos puntos que venimos señalando desde nuestro primer viaje al Perú. En el taller celebrado en el segundo viaje, los participantes de CISMID, IGP y otras organizaciones evaluaron positivamente el sistema japonés de diseño basado en el desempeño por ser sencilla y entendible. A no ser que los puntos que señalamos a continuación sean modificados, será difícil afirmar que el esquema básico del diseño basado en el desempeño japonés fue incorporada en la norma sísmica peruana.

3

## ① Sobre el establecimiento del requisito de desempeño sísmico

### [E.030] 1.3 Filosofía y Principios del Diseño Sismorresistente

La filosofía del Diseño Sismorresistente consiste en:

- a. Evitar pérdida de vidas humanas.
- b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- c. Minimizar los daños a la propiedad.

Se reconoce que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de las estructuras. En concordancia con tal filosofía se establecen en la presente Norma los siguientes principios:

#### Seguridad

a. La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.

#### Recuperabilidad

b. La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.

#### Capacidad de servicio

c. Para las edificaciones esenciales, definidas en la Tabla N° 5, se tendrán consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

4



## ① Sobre el establecimiento del requisito de desempeño sísmico

### Optimum Performance (PR1).

The construction undergoes only minimal effects, giving no sense of danger and can, therefore, **be used immediately**. Absolutely not any human affectation (**no risk of injuries, no threaten to life at all**).

### Good Performance (PR2).

The construction undergoes moderate effects, being **reasonably easy and economical to repair**. No human affectation (**no risk of significant injuries, no threaten to life**).

### Safety Performance (PR3).

The construction undergoes significant damage but remains safe. Little human affectation (**low risk of significant injuries, no serious threaten to life**).

### No Collapse Performance (PR4).

The construction undergoes very important effects, but it can still be **safely evacuated**; noticeably, this affects the stairs, escalators and elevators. Moderate human affectation (**important risk of significant injuries, not high threaten to life**). Road and railway tunnels) can be transited by emergency vehicles and convoys, respectively; in railway tunnels, this affects to the facilities (mainly, the electric power supply. To allow for this transit, clearance restrictions (space proofing) might apply, mainly for road tunnels.

### Functional Performance (FP).

Construction can **recover most of its ability to function in a reasonably short time (a few days)**.

5

## ① Sobre el establecimiento del requisito de desempeño sísmico

	Risk of injuries	Threaten to life	Use/recover
PR1	<b>no risk of injuries</b>	<b>no threaten to life</b>	<b>use immediately</b>
PR2	<b>no risk of significant injuries</b>	<b>no serious threaten to life</b>	<b>reasonably easy and economical to repair.</b>
PR3	<b>low risk of significant injuries</b>	<b>no serious threaten to life</b>	-
PR4	<b>important risk of significant injuries</b>	<b>not high threaten to life</b>	-
PF	-	-	<b>recover most of its ability in a few days</b>

6

# ① Sobre el establecimiento del requisito de desempeño sísmico

Performance requirement	E.030 (clause 3.2)
PR1	-
PR2	(b) The structure should withstand ground movements rated as moderate for the project site, being a repairable damage within limits acceptable
PR3	(a) The structure should not collapse or cause damage serious to people, although it could present damages qualified seismic movements as severe for the project site
PR4	(c) Maintain functionality
PRO	

Recuperabilidad  
 Seguridad  
 Capacidad de servicio

# ② Sobre los cinco requisitos de desempeño sísmico y los cinco estados límite

Performance requirement	Damage Level	Limit State	Drift Limitation	Steel Strain Limitation	Concrete Strain Limitation
PR1 (Optimum Performance)	ND (Negligible Damage)	FO (Fully Occupational)	-	-	-
PR2 (Good Performance)	LD (Limited Damage)	IO (Immediate Occupancy)	1	0.002	0.003
PR3 (Safety Performance)	SD (Significant Damage)	LS (Life Safety)	2	0.002	0.006
PR4 (No Collapse Performance)	GD (Generalized Damage)	CP (Collapse Prevention)	4	-	-
PRO (Functional Resilience)	FD (Functional Damage)				

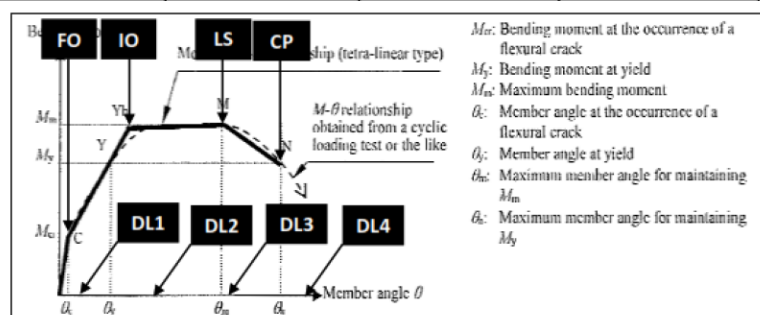


Figure 1. Example of modeling the non-linearity of a concrete element armed in Japanese design code

# (1) Sobre el nivel de daño global y el nivel de daño local

Performance requirement	Damage Level	Limit State	Drift Limitation	Steel Strain Limitation	Concrete Strain Limitation
PR1 (Optimum Performance)	ND (Negligible Damage)	FO (Fully Occupational)	-	-	-
PR2 (Good Performance)	LD (Limited Damage)	IO (Immediate Occupancy)	1	0.002	0.003
PR3 (Safety Performance)	SD (Significant Damage)	LS (Life Safety)	2	0.002	0.006
PR4 (No Collapse Performance)	GD (Generalized Damage)	CP (Collapse Prevention)	4	-	-
PRO (Functional Resilience)	FD (Functional Damage)				

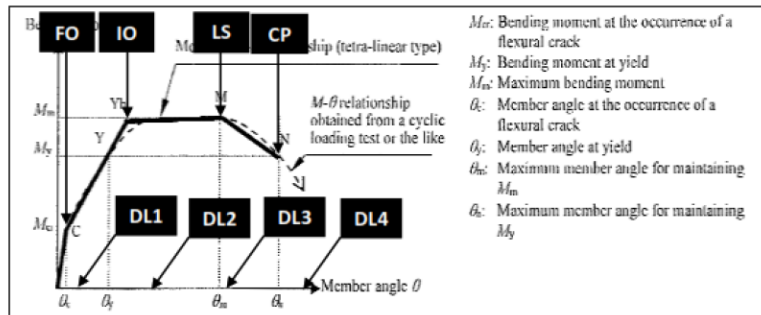
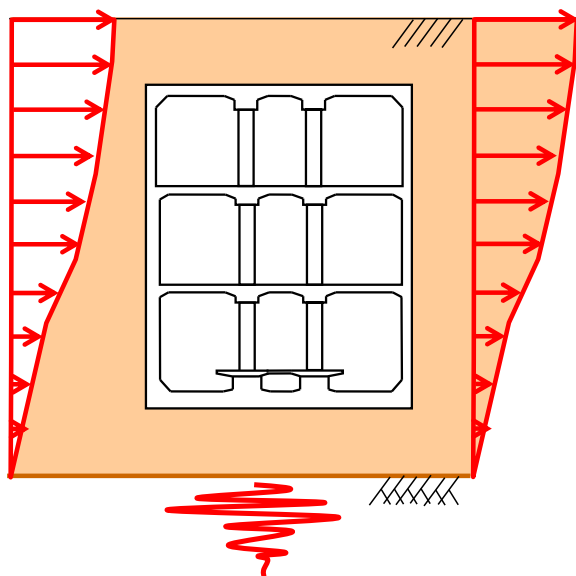


Figure 1. Example of modeling the non-linearity of a concrete element armed in Japanese design code

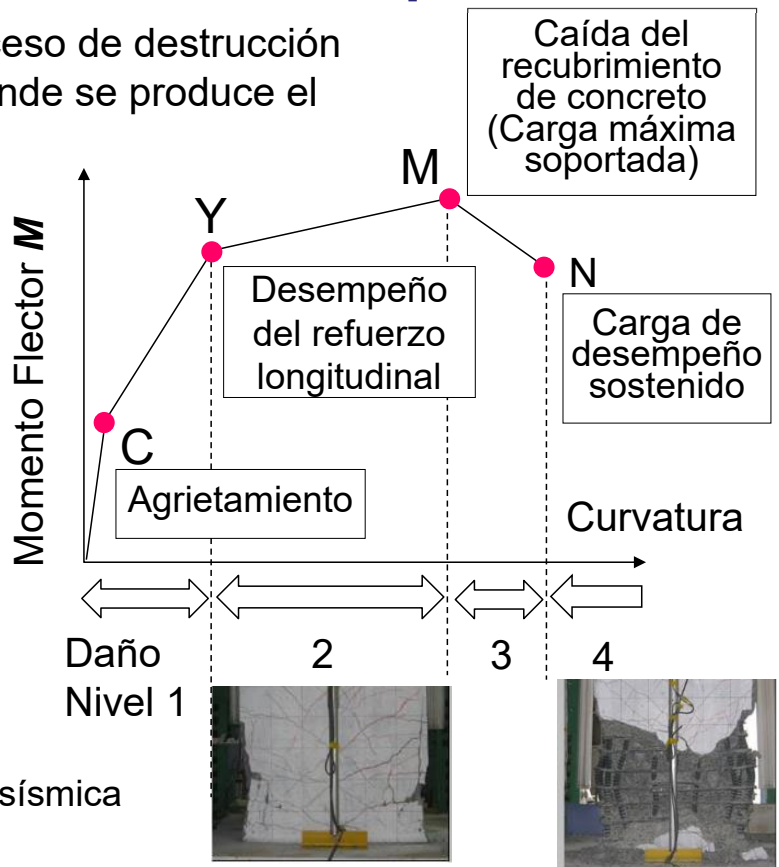
## ② Sobre los cinco requisitos de desempeño sísmico y los cinco estados límite

### Evaluar objetivamente el desempeño

Cálculo de diseño: Rastrear el proceso de destrucción de la estructura y calcular hasta donde se produce el daño ante la vibración sísmica.

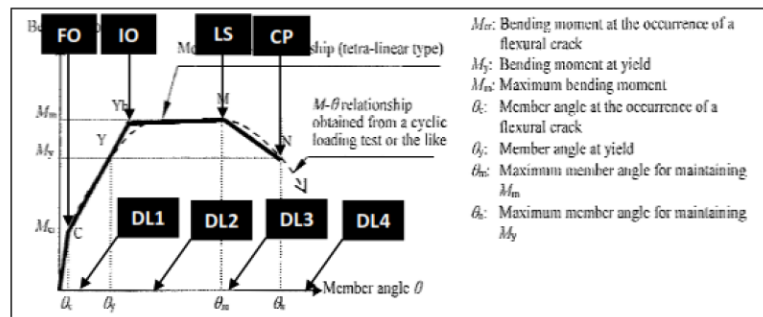


Deformación del suelo por la vibración sísmica  
Deformación del túnel



## (2) Sobre el valor límite

Performance requirement	Damage Level	Limit State	Drift Limitation	Steel Strain Limitation	Concrete Strain Limitation
PR1 (Optimum Performance)	ND (Negligible Damage)	FO (Fully Occupational)	-	-	-
PR2 (Good Performance)	LD (Limited Damage)	IO (Immediate Occupancy)	1	0.002	0.003
PR3 (Safety Performance)	SD (Significant Damage)	LS (Life Safety)	2	0.002	0.006
PR4 (No Collapse Performance)	GD (Generalized Damage)	CP (Collapse Prevention)	4	-	-
PRO (Functional Resilience)	FD (Functional Damage)				

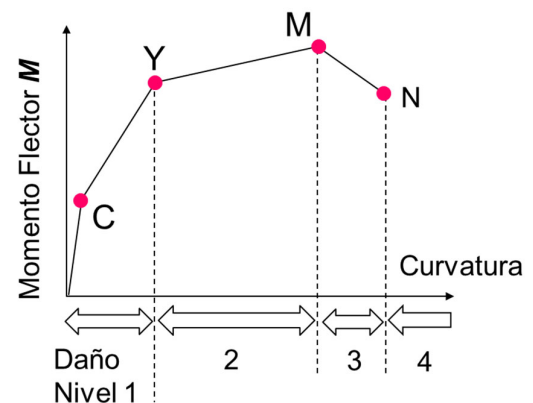


11

## ② Sobre los cinco requisitos de desempeño sísmico y los cinco estados límite

### Evaluar objetivamente el desempeño Niveles límite de los daños

Definir los niveles límite de los daños de cada miembro y diseñar para que los daños producidos sean menores a los límites definidos para satisfacer el desempeño requerido.



### Niveles límite de daños de los miembros

	Usabilidad	Facilidad de rehabilitar	Seguridad	
Losas superiores e inferiores	1	2	3	
Losas intermedias	Que soportan los vagones	1	2	3
	Que no soportan los vagones	2	3	3
Paredes laterales	1	2	3	
Pilares centrales	1	2	3	

12

### ③ Sobre la matriz de desempeño

Performance requirement	Importance		
	I1	I2	I3
PR1	60 (80%)	110 (60%)	195 (40%)
PR2	110 (60%)	195 (40%)	450 (20%)
PR3	195 (40%)	450 (20%)	950 (10%)
PR4	450 (20%)	<b>950 (10%)</b>	2450 (4%)
PRO	195 (40%)	450 (20%)	950 (10%)

13

### ③ Sobre la matriz de desempeño

Performance requirement	Importance		
	I1	I2	I3
PR1	60 (80%)	110 (60%)	195 (40%)
PR2	110 (60%)	195 (40%)	450 (20%)
PR3	195 (40%)	450 (20%)	950 (10%)
PR4	450 (20%)	<b>950 (10%)</b>	2450 (4%)
PRO	195 (40%)	450 (20%)	950 (10%)

Ejemplo	Seguridad	Recuperabilidad	Capacidad de Servicio
Movimiento sísmico	2450 años	950 años	450 años
I1	●	X o Moderado	X
I2	●	● o Moderado	X o Moderado
I3	●	● o Estricto	● o Estricto

● : Se requiere satisfacer el desempeño

X : No se requiere satisfacer el desempeño,

Moderado : Se establece un valor límite moderado, Estricto: Se establece un valor límite estricto.

14

## 付属資料-02

### 第4レポートに対するプレゼンテーション資料

#### 基準検証の必要性に関する助言

# Propuesta sobre Verificación de Norma

25 de noviembre, 2020  
Equipo de expertos de JICA

1

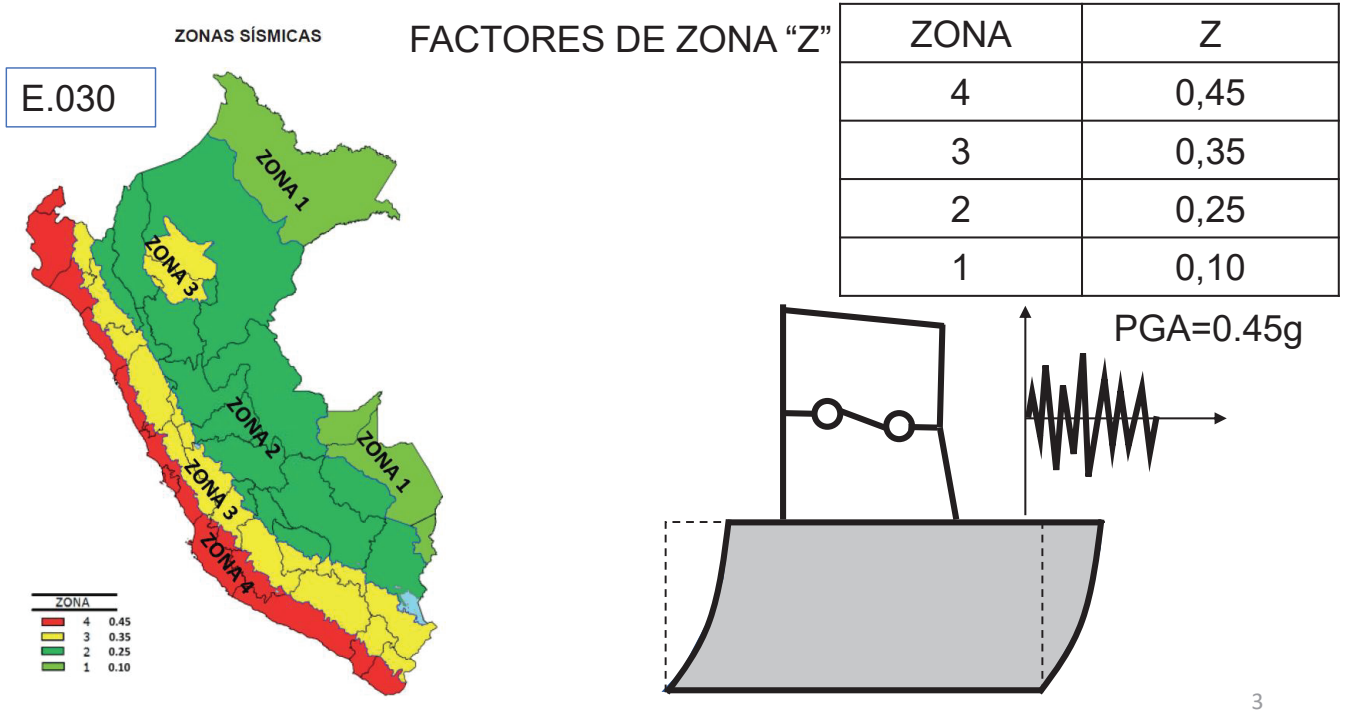
## ¿Cuáles son los productos?

- Norma de diseño sismorresistente para túneles en Perú
- Norma consistente con otras normativas peruanas e internacionales
- Norma que considera las condiciones sísmicas de Perú
- Norma basada en la verificación de desempeño
- Norma basada en la experiencia japonesa
  - ➔ No es la misma que la norma japonesa.
  - ➔ En Japón, el concepto de verificación de desempeño fue adoptado por primera vez en la norma de diseño sismorresistente.

2

# Situación actual del diseño sismorresistente en Perú

- Existen normas de diseño sismorresistente para la construcción de estructuras sobre el nivel del suelo
- No existen normas de diseño sismorresistente para túneles subterráneos.

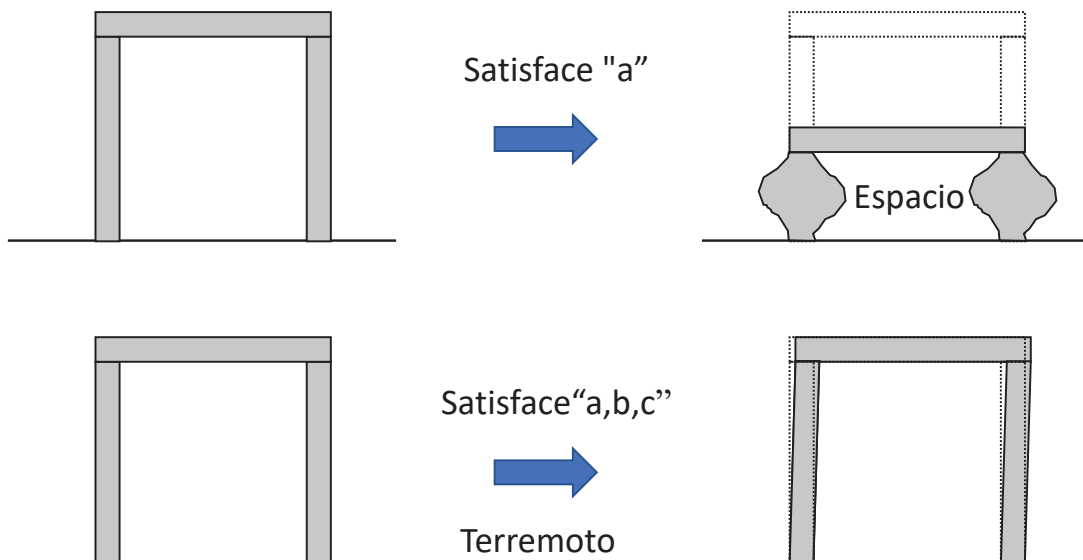


## Requisito de desempeño sísmico de E.030

### 1.3 Filosofía y Principios del Diseño Sismorresistente

La filosofía del diseño sismorresistente consiste en:

- a. Evitar pérdida de vidas humanas.
- b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- c. Minimizar los daños a la propiedad.





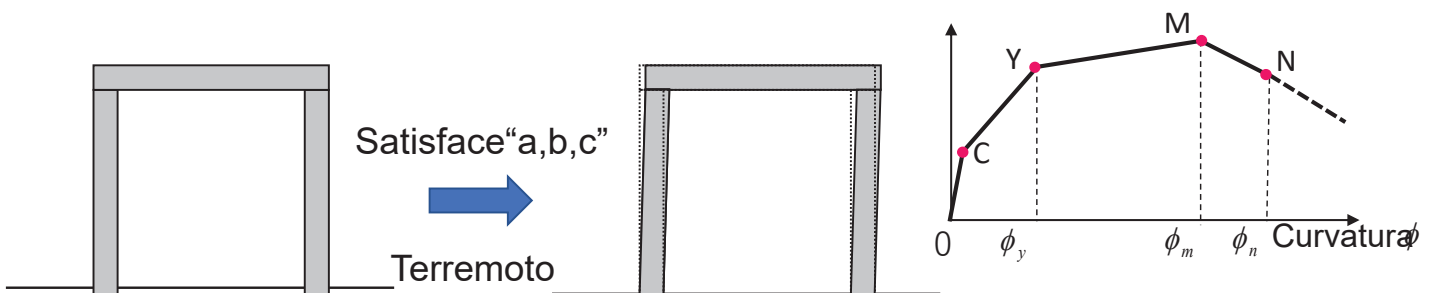
# Diseño de estado límite y diseño basado en la verificación de desempeño

- El diseño basado en desempeño se realiza utilizando el método de diseño de estado límite

$$\gamma_i \cdot \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0$$

$S_d$  : Valor de respuesta de diseño ,  $R_d$  : Valor límite de diseño,  
 $\gamma_i$  : Coeficiente de estructura

- a. Evitar pérdida de vidas humanas. → Verificación 1
- b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos. → Verificación 2
- c. Minimizar los daños a la propiedad. → Verificación 3



5

## Puntos importantes al elaborar la norma de diseño sismorresistente para túneles

- **Establecer el requisito de desempeño sísmico.**
- Establecer un estado límite para confirmar que el requisito de desempeño sísmico establecido sea satisfactorio.
- Tomar en consideración que el estado límite se establezca en la estructura subterránea.
- **Establecer el movimiento sísmico de diseño a nivel subterráneo.**
- Considerar que el movimiento sísmico de diseño sea coherente con el movimiento sísmico de diseño establecido a nivel del suelo.
- Considerar que el movimiento sísmico de diseño sea coherente con los registros sísmicos observados en Perú.
- **El método de evaluación del desplazamiento de suelo durante un terremoto debe ser apropiado.**
- **El análisis de respuesta sísmica de estructuras debe ser apropiado. (análisis no lineal)**
- **Asegurar la coherencia con otras normas.**

6

## Necesidad de verificación de la norma y puntos a tener en cuenta

- Es la primera norma basada en el desempeño en Perú.
- Verificar si los elementos necesarios son estipulados cabalmente en la norma.
- Verificar si es posible hacer el diseño sismorresistente de acuerdo con la norma sísmica establecida.
- Verificar si la descripción de norma es entendible para la tercera persona aunque los autores creen que se ha elaborado perfectamente.
- Está previsto realizar la compilación de la norma en el período entre agosto y octubre de 2021 y es deseable que los resultados de la verificación de la norma se presenten a principios de agosto.
- Para que se apropien de los conocimientos de formulación y revisión de la norma en el futuro, es deseable que la verificación de la norma se lleve a cabo por la parte peruana.

7

## Papeles de la parte peruana y la japonesa, y Solicitud a la parte peruana

### ● Papel de la parte peruana

- Verificación de la norma por un equipo diferente al equipo original de elaboración (hasta agosto de 2021)

### ● Papel de la parte japonesa

- Presentación de propuestas y/o recomendaciones sobre el método de verificación de la norma sísmica (hasta finales de enero de 2021)
- Revisión de los resultados de verificación de la norma sísmica (de agosto a septiembre de 2021 después de recibir los resultados de verificación por la parte peruana)

### ● Solicitud a la parte peruana

- Se solicita que la parte peruana haga verificación de la norma tomando la Línea 2 del Metro de Lima como ejemplo.
- Se solicita que aproximadamente en dos semanas se seleccione una sección de la Línea 2 del Metro de Lima como objeto de verificación y que nos proporcione la información del diseño (datos de sección, datos de distribución de varilla de acero de refuerzo, datos de suelos, datos de materiales).
- Después de confirmar los datos proporcionados, la parte japonesa presentará el método de verificación de la norma y hará recomendaciones.

8

## 付属資料-03

### 第5 レポートに対するプレゼンテーション資料

#### 第5 レポートに関する助言

Agenda which must be confirmed between Japan and Peru in meeting on 22<sup>nd</sup> January

2021/1/21

JICA Study Team

JICA Study Team recommended the requirements of this standard as follows. Therefore, JICA Study Team requests to confirm whether MTC and Peruvian consultant can agree these requirements.

(1) 回答資料で提案のあったマトリクス (New version of No.4) について

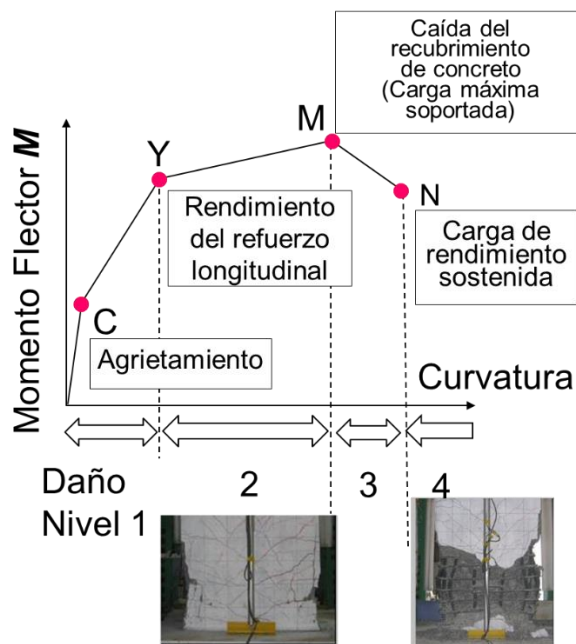
日本側からの指摘事項は以下の通りである。

- ・ 4つの Limit State を決めることは問題ない。ただし、他の基準、ペルーの既存基準との整合性が必要である。

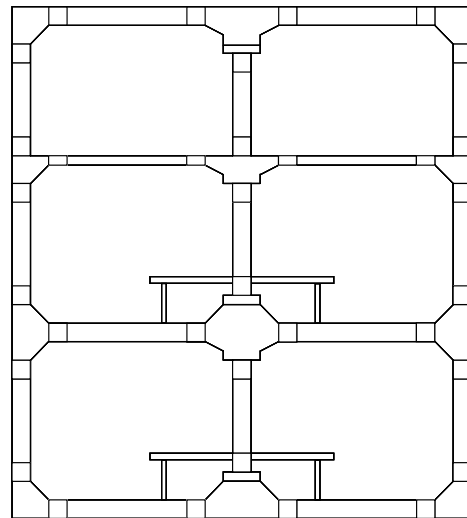
一方、下記項目が必要と考えるため、検討されたい。

- ・ 要求性能の見直しも必要である。要求性能は E030 に示される 3つの性能と整合するのがよい。
- ・ 設計地震動を再現期間で設定することは問題ないが、12段階となる設計地震動 の設定数は線形解析を想定したものであり、多すぎると考える。非線形解析で性能設計を行い、例えば、次頁に示すマトリクスを設定することで、設計地震動を2段階で設定できる。この時、重要度に応じて設計地震動を変えるのではなく、許容する構造部材の損傷レベルを変えればよい。

要求性能 (E030)	人が亡くならない	地震の後にも継続して使用できる	性能の低下を最小限にとどめる		
損傷レベル	崩壊しない	かなりの損傷	限定された損傷 (大きな地震に対して耐力が低下しない。中小の地震に対して補修の必要がない損傷)		
限界状態	終局限界	修復限界	使用限界		
照査指標	大きな地震に対する部材の曲げ耐力、せん断耐力	大きな地震に対する部材の曲げ耐力、せん断耐力	中規模地震に対する降伏		
構造部材の損傷レベル	上下床版	3	2	1	
	中床版	列車荷重を支持する	3	2	1
		列車荷重を支持しない	3	3	2
	側壁	3	2	1	
	中柱	3	2	1	



開削トンネルの損傷部位のイメージ



## (2) 5つの要求性能と5つの限界状態について

- ・前頁の通り、4つの Limit State を決めることは問題ない。ただし、前ページの指摘事項を考慮する必要がある。
- ・E030 に従って要求性能を3つに絞り、多くても3段階の設計にするのが賢明です。AASHTO、Eurocode でも2段階の設計を行っていますし、リマメトロ2号線も2段階の設計と伺いました。なぜ、ペルーは5段階の設計が必要なのでしょう？

## (3) Global な Damage level と Local な Damage level について

- ・日本の基準では、Global な Damage level と Local な Damage level (部材の損傷レベル)、が等価であると考えて設計します。その上で、Global な Limit State 以内に収めるまでの Limit value を構造物を構成する各部材に対して設定し、設計計算から求まる部材の Damage level が Limit Value 以内に収まることを確認することで、性能を照査します。

## (4) Limit Value について

- ・Limit Value は部材の種類や位置によって異なります。たとえば、復旧しやすい位置にある部材であれば、復旧性のための Limit value は低く設定することが出来ます。また、Limit value は部材の種類や材料、構造形式等によって異なります。たとえば靱性の高い材料を使えば、Limit value を大きな変形までを伸ばすことができます。この考え方を採用することで、新しく開発される材料や工法を容易に導入できるようになります。これが性能設計の大きなメリットの一つです。

## (5) 検証について

- ・リマメトロ2号線に関する設計資料の提供に関して、進捗状況を確認したい。

## (6) 日本の耐震基準に関する追加の講義・説明について

下記の通り、日本側から MTC を含む関係機関に対し、オンラインのセミナー開催を提案する。

- ・実施時期：2月中旬から後半頃
- ・テーマ：設計地震動、耐震設計、耐震解析
- ・参加対象は MTC および基準策定の関連機関 (CISMID、IGP、AATE 等)
- ・内容日本側の講義内容 (案)：第4、5レポートに対する助言内容、日本における一連の解析法の全体的な流れ、耐震要求性能に応じた損傷レベルとその設計限界値の実例等
- ・時間：講義1時間、質疑応答1時間の計2時間程度。

End of document

**付属資料-04**

**2021年3月21日 耐震設計セミナーの**

**プレゼンテーション資料**

**性能設計**

# Presentación de la Norma Sísmica Japonesa ~ Diseño basado en Desempeño Sísmico ~

Instituto de Investigación Técnica de Ferrocarriles

Centro de Investigación de  
Ingeniería Sísmica de Ferrocarriles

Investigador Senior

Jun IZAWA



Railway Technical Research Institute

1

## Asistencia a la elaboración de la Norma de Técnica de Diseño Sismorresistente de las estructuras subterráneas (2017-)

MTC del Perú: Elaborando la norma de diseño sismorresistente para las estructuras subterráneas



“¡Queremos adoptar el diseño basado en desempeño!”

JICA (Embajada del Japón, Ministerio de Tierras, Infraestructura, Transporte y Turismo)  
Asistencia a la elaboración de la norma de diseño mediante el envío de los expertos en el diseño sismorresistente



1er taller sobre la elaboración de la norma de diseño sismorresistente de las estructuras subterráneas (19 de julio de 2019)



Railway Technical Research Institute

2



## Presentación de la Norma Sísmica Japonesa

1. Diseño basado en Desempeño Sísmico  
Dr. Izawa, 15 min.
2. Movimiento Sísmico de Diseño  
Dr. Tanaka, 15 min.
3. Analisis Estructural del Diseño Sísmico  
Mr. Araki(PE), 30 min.



## Diseño basado en desempeño

---

Consiste en **especificar el desempeño estructural requerido** y **evaluar objetivamente** si la estructura retiene dicho desempeño a lo largo del período de servicio.

- ① Da a conocer a la sociedad el desempeño mediante la descripción / indicación para aumentar la fiabilidad;
- ② Permite seleccionar libremente los materiales y el tipo estructural;
- ③ Permite aplicar la tecnología innovadora para asegurar el desempeño;
- ④ Responde a la globalización tecnológica de los materiales de construcción que circulan en el mercado internacional; etc.



## Diseño basado en desempeño

Consiste en **especificar el desempeño estructural requerido** y **evaluar objetivamente** si la estructura retiene dicho desempeño a lo largo del período de servicio.

- ① Da a conocer a la sociedad el desempeño mediante la descripción / indicación para aumentar la fiabilidad;
  - Antes de introducir la norma basada en el desempeño (Método de desempeño basado en el estado límite)  
Ej.) Estructura que no llega al estado límite último en un sismo severo.  
**¿Estado límite último? ¿Cuál es la ventaja para los usuarios?**  
**Es difícil explicar a la sociedad.**
  - Método de diseño basado en desempeño  
Ej.) Estructura que no amenaza la vida de usuarios en un sismo de período de retorno de 2000 años.  
**El gobierno y/o los propietarios de estructura pueden explicar a la sociedad.**



## Diseño basado en desempeño

Consiste en **especificar el desempeño estructural requerido** y **evaluar objetivamente** si la estructura retiene dicho desempeño a lo largo del período de servicio.

- ② Permite seleccionar libremente los materiales y el tipo estructural;
  - ③ Permite aplicar la tecnología innovadora para asegurar el desempeño;
    - Una vez que se logra cumplir con el requisito de desempeño, se puede optar por cualquier tipo de materiales y estructuras.
    - Se puede aplicar fácilmente las tecnologías innovadoras en el futuro.
    - Se puede seleccionar libremente el método de confirmación objetiva (tarea de diseño / verificación) siempre y cuando su precisión esté comprobada. Ej.) Puede ser un ensayo experimental.
- ✖En muchos casos, las normas del diseño indican los métodos estándar.



## ■ Diseño basado en desempeño

Consiste en **especificar el desempeño estructural requerido** y **evaluar objetivamente** si la estructura retiene dicho desempeño a lo largo del período de servicio.

- ④ Responde a la globalización tecnológica de los materiales de construcción que circulan en el mercado internacional, etc.

※ El Acuerdo sobre la Contratación Pública y el Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (Acuerdo OTC) de la OMC obligan a los países miembros a cumplir con las normas internacionales como base para sus normas nacionales.

ISO2394: General principles on reliability for structures (1998)

ISO23469: Bases for design of structures (2005)

Seismic actions for designing geotechnical works

Es factible la adopción de tecnología internacional de punta.



## ■ Normativa de diseño sismorresistente de Japón

Norma de Diseño Sísmico para Estructuras Ferroviarias y Cometas (2012)

La norma de diseño fue revisado en base a la experiencia de los desastres del Gran Terremoto de Tohoku (2011) y el Sismo de Kobe (1995).

La norma sísmica se puede aplicar para el diseño de puentes, viaductos, estructuras de cimentación, estructuras de contención (muros, pilares, etc.), taludes y **túneles**.



Esta norma está sujeta a la Norma Internacional ISO23469(2005) y aplica la metodología denominada **diseño basado en desempeño**.



## Norma de diseño de ferrocarriles en Japón

Ordenanza ministerial que establece normas técnicas para ferrocarriles

Con respecto a las infraestructuras de transporte ferroviario, etc. se establecen las normas técnicas necesarias, a través de lo cual se busca **garantizar el transporte seguro y estable** para cumplir el propósito de contribuir a la promoción del bienestar público.



Railway Technical Research Institute

9

## Norma de diseño de ferrocarriles en Japón: Requisito de desempeño

### Seguridad

Requisito de desempeño que debe poseer la estructura para que **no amenace la vida de los usuarios o de quienes están en su alrededor** bajo todos los efectos previsible.

### Operatividad

Requisito de desempeño para que la estructura proporcione el **servicio cómodo a los usuarios o a quienes están en su alrededor** bajo todos los efectos previsible.

### Recuperabilidad

Requisito de desempeño que **no produce daños en la estructura o recupera fácilmente su desempeño cuando se daña** bajo todos los efectos previsible.



Railway Technical Research Institute

10

## Norma de diseño sismorresistente en Japón

Acción permanente: una acción cuya fluctuación es muy pequeña e ignorable, pero tiene un efecto duradero.

Ej.) carga muerta, deformación progresiva de material, etc.

Acción fluctuante: una acción que ocurre con frecuencia o de forma continua y su fluctuación no se puede ignorar.

Ej.) carga de tren, cambio de temperatura, carga de viento, carga de nieve, etc.

Acción contingente: una acción menos frecuente pero más influyente durante la vida útil que garantiza el diseño.

Ej.) **terremotos**, colisiones automovilísticas, etc.

**Seguridad** = Acción permanente, Acción fluctuante, **Acción contingente**

**Operatividad** = Acción permanente, Acción fluctuante

**Recuperabilidad** = Acción permanente, Acción fluctuante,  
**Acción contingente**



## Normas de diseño sísmico ferroviario en Japón

### Seguridad

La seguridad se refiere al desempeño de las estructuras por las que la vida de los usuarios y las personas de la zona no se ven amenazadas durante los terremotos.

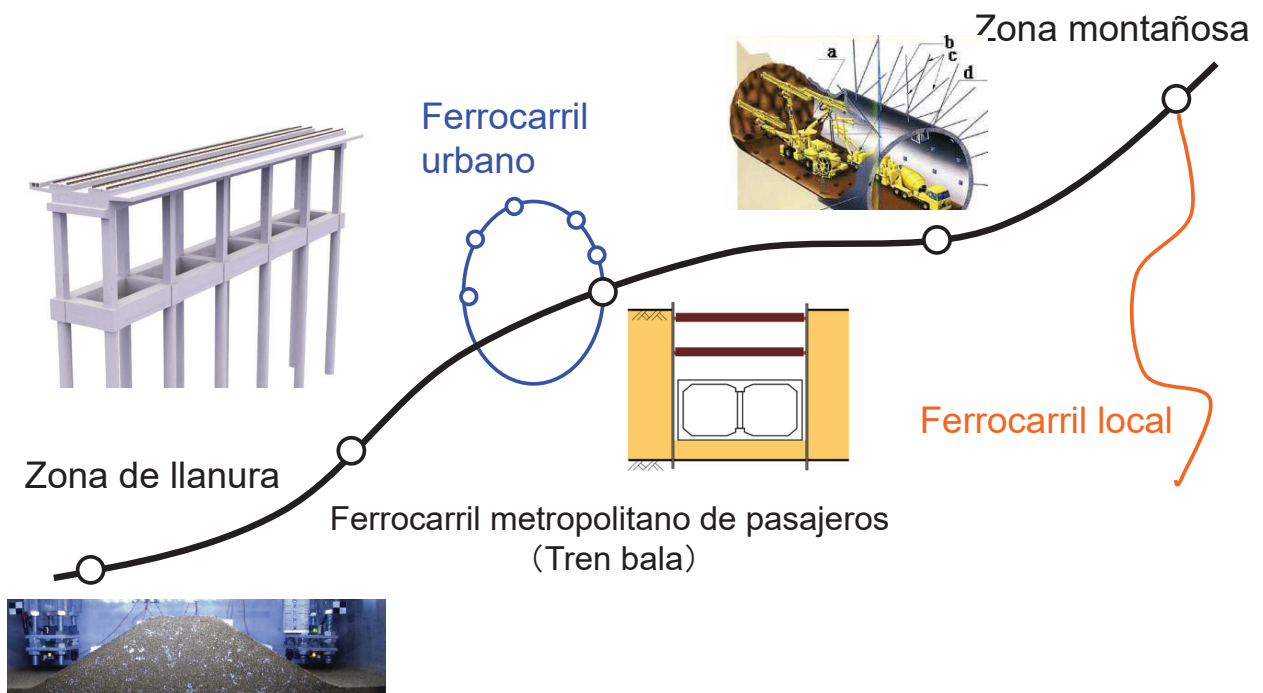
- **Seguridad Estructural**: Capacidad de la estructura para soportar grandes movimientos sísmicos sin colapso de la estructura.
- **Seguridad Funcional**: Capacidad de una estructura para reducir la posibilidad de descarrilamiento de trenes tanto como sea posible durante un sismo.

### Recuperabilidad

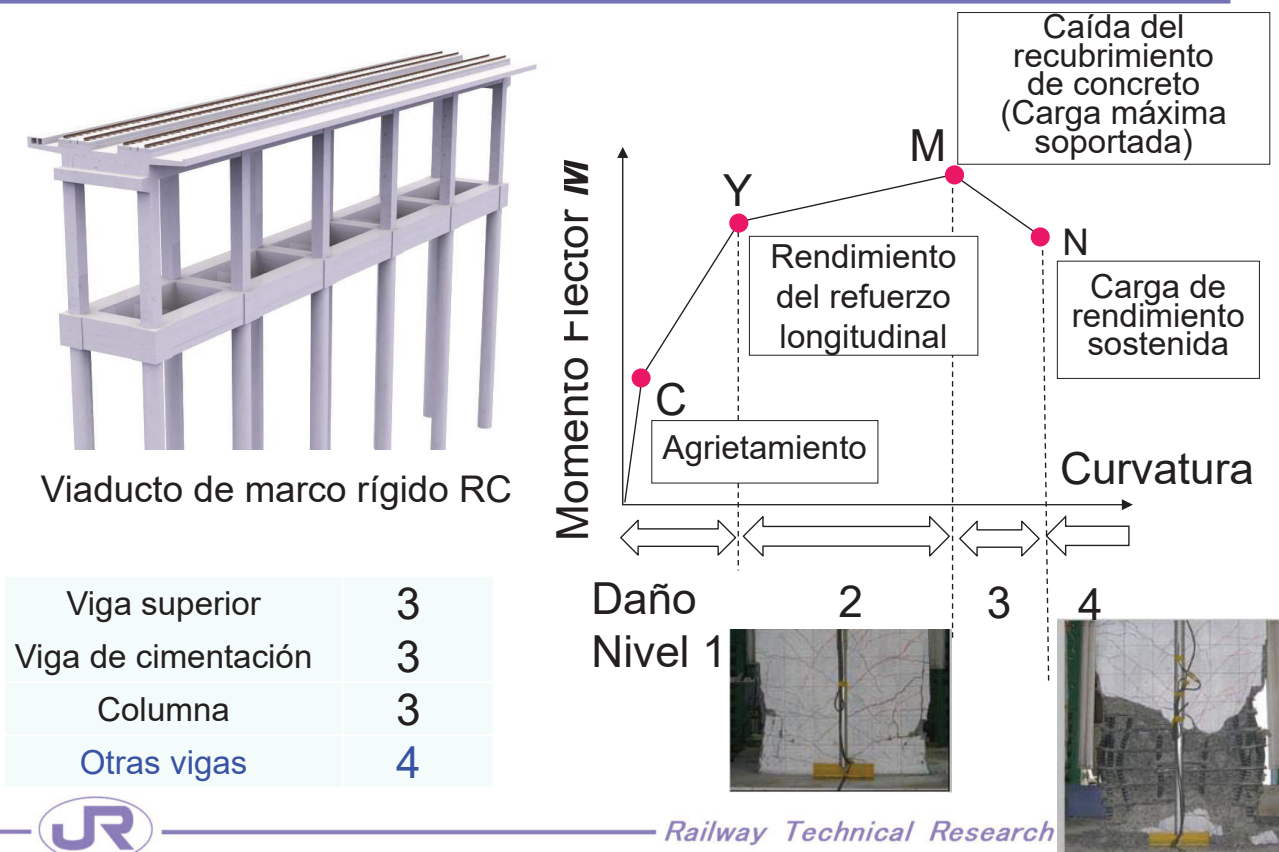
- La **Recuperabilidad** es la capacidad de ser restaurado en un período de tiempo corto.



# Concepto de requisito de desempeño: Seguridad



# Concepto de requisito de desempeño: Seguridad

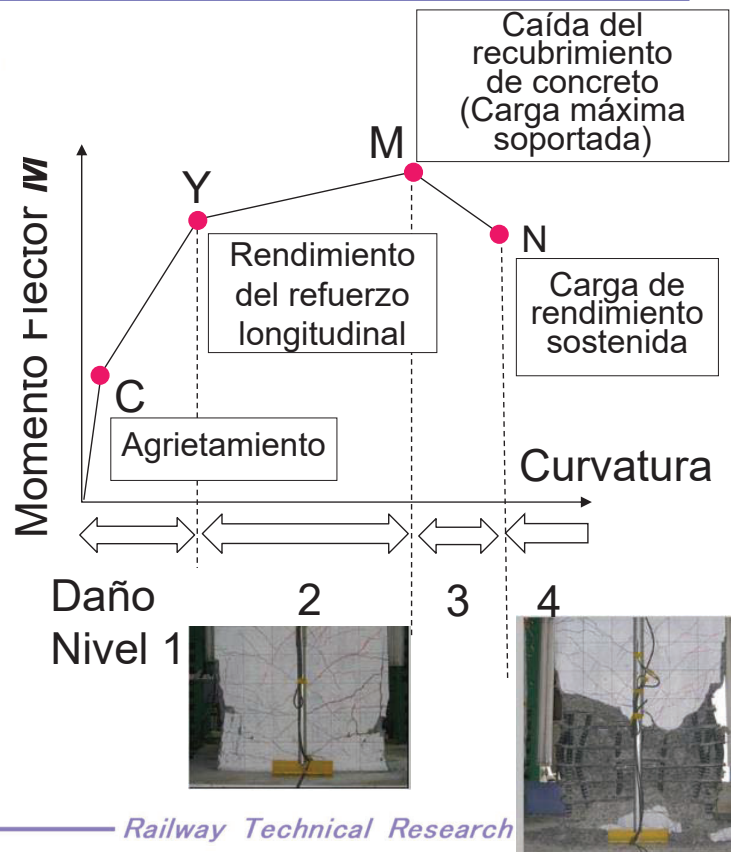


## Concepto de requisito de desempeño: Recuperabilidad



Viaducto de marco rígido RC

Viga superior	2
Viga de cimentación	2
Columna	3
Otras vigas	3

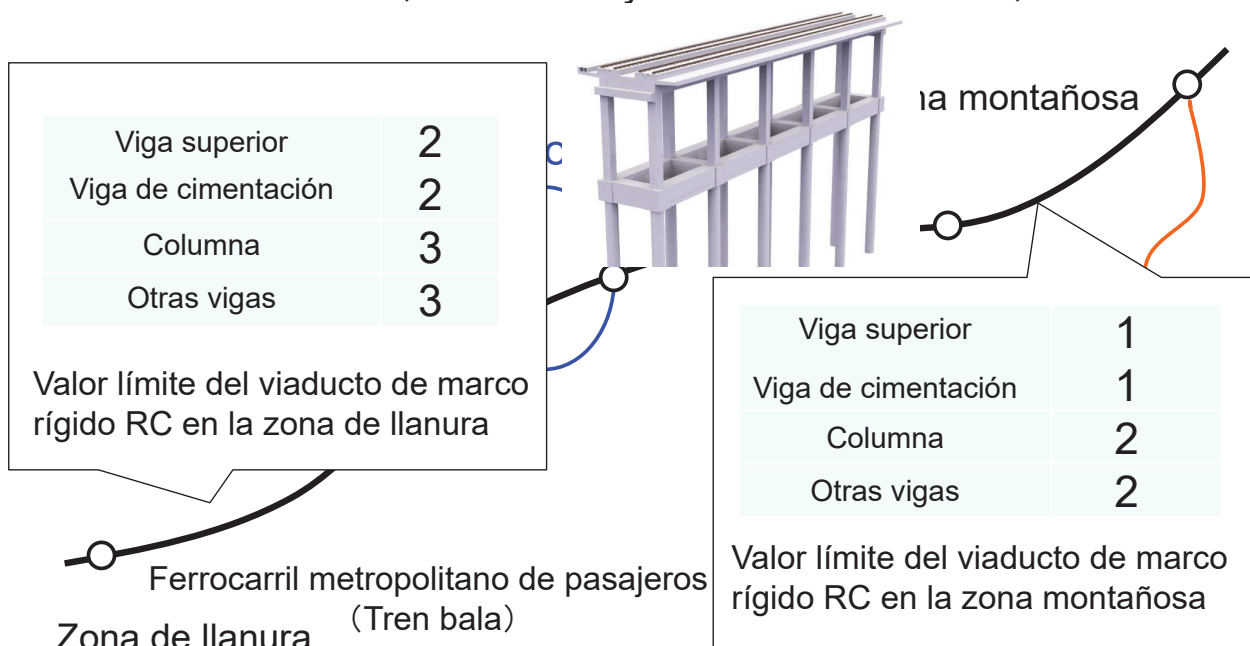


Railway Technical Research

15

## Concepto de requisito de desempeño: Recuperabilidad

El valor límite se establece flexiblemente según tipo de estructura, ubicación de miembros, materiales y entorno circundante, etc.



Railway Technical Research Institute

16

**付属資料-05**

**2021年3月21日 耐震設計セミナーの**

**プレゼンテーション資料**

**設計地震動**



# Establecimiento del movimiento sísmico de diseño

Instituto de Investigación Técnica de Ferrocarriles

Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica de Ferrocarriles

Investigador Asistente Senior

Kohei TANAKA



Railway Technical Research Institute

1

## Requisito de desempeño sísmico y movimiento sísmico de diseño

- El movimiento sísmico de diseño es el factor que se utiliza para confirmar si la estructura cumple con el requisito de desempeño sísmico.
- Se establece para cada requisito de desempeño sísmico y su definición se difiere según el requisito de desempeño sísmico.

### Seguridad

- **Seguridad Funcional** (Capacidad de una estructura para reducir la posibilidad de descarrilamiento de trenes tanto como sea posible durante un sismo.)

➡ **Movimiento sísmico L1**: corresponde al movimiento sísmico que se produce con una probabilidad de ocurrencia de varias veces durante la vida útil de la estructura.

- **Seguridad Estructural** (Capacidad de la estructura para soportar grandes movimientos sísmicos sin colapso de la estructura.)

➡ **Movimiento sísmico L2**: corresponde al movimiento sísmico de una intensidad máxima que puede ocurrir en el sitio de construcción.

### Recuperabilidad

➡ **Movimiento sísmico para verificar la recuperabilidad**: es el movimiento sísmico para confirmar la pertinencia del diseño de la estructura desde los puntos de vista económico y del tiempo que necesita para la recuperación.

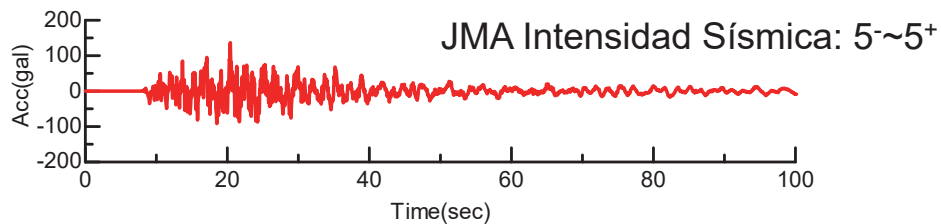


Railway Technical Research Institute

2

## Movimiento sísmico L1 (Seguridad Funcional)

El **movimiento sísmico L1** debe ser configurado como un sísmico con una probabilidad de ocurrencia de varias veces durante la vida útil de diseño de la construcción.



Resultado del análisis probabilístico de riesgo sísmico con un periodo de retorno de 50 años

### Medidas para elementos que no son de la estructura

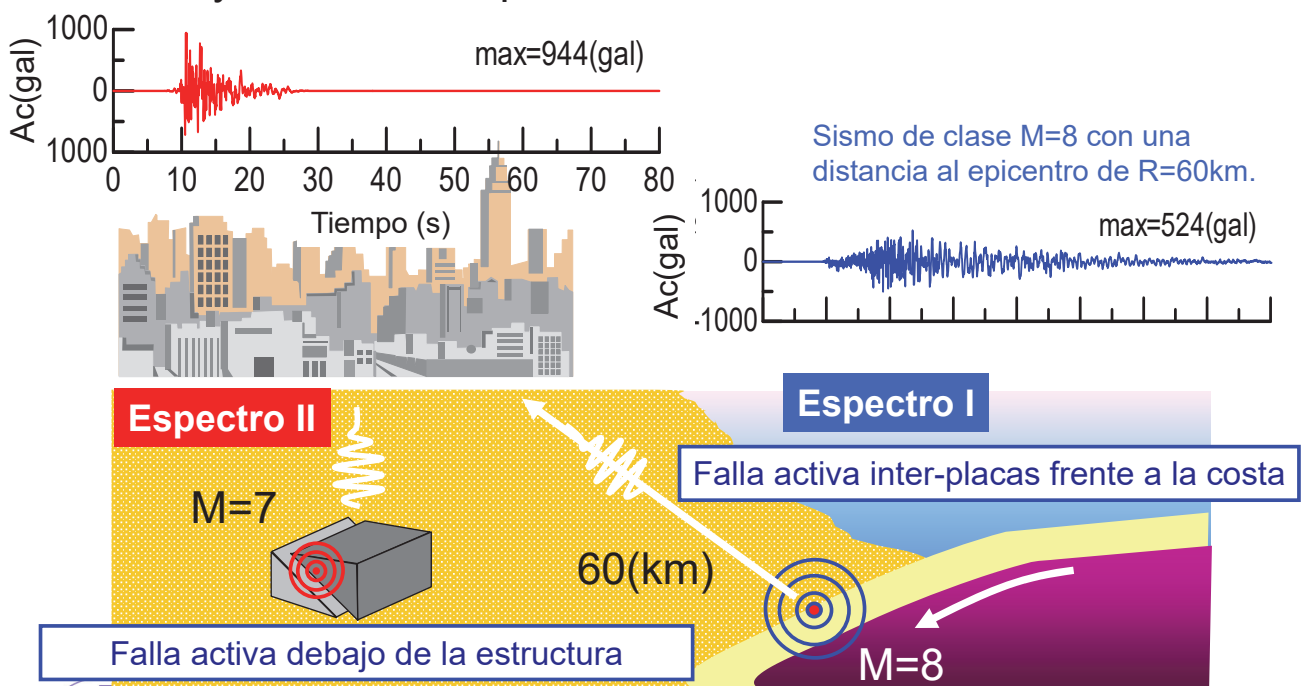
**Valla protectora:** se instala en los rieles para evitar el descarrilamiento

**Sistema de alerta temprana de sismo:** detecta el sismo y reduce la velocidad de tren mediante la activación de freno de emergencia antes de sufrir el temblor grande.



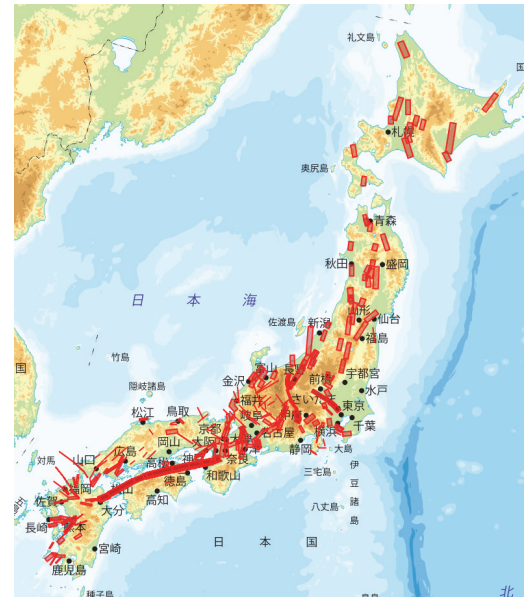
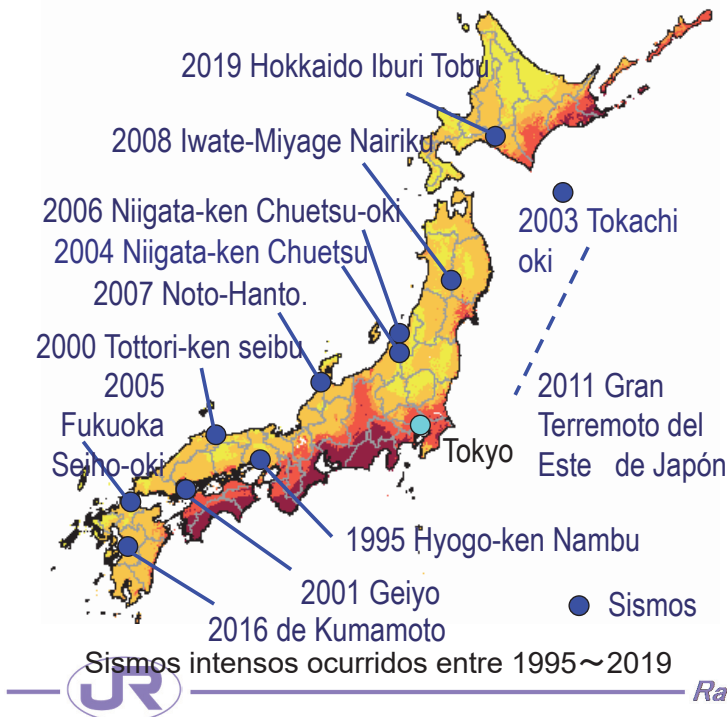
## Movimiento sísmico L2 (Seguridad Estructural)

El **movimiento sísmico L2** debe ser configurado como aquel con la mayor intensidad presumible en la construcción.



## Principales fallas activas y sismos ocurridos en Japón

- Muchos sismos intensos han ocurrido en el pasado y se esperan aún más sismos en el futuro.
- Es difícil estimar previamente la probabilidad de ocurrencia de sismos intensos.



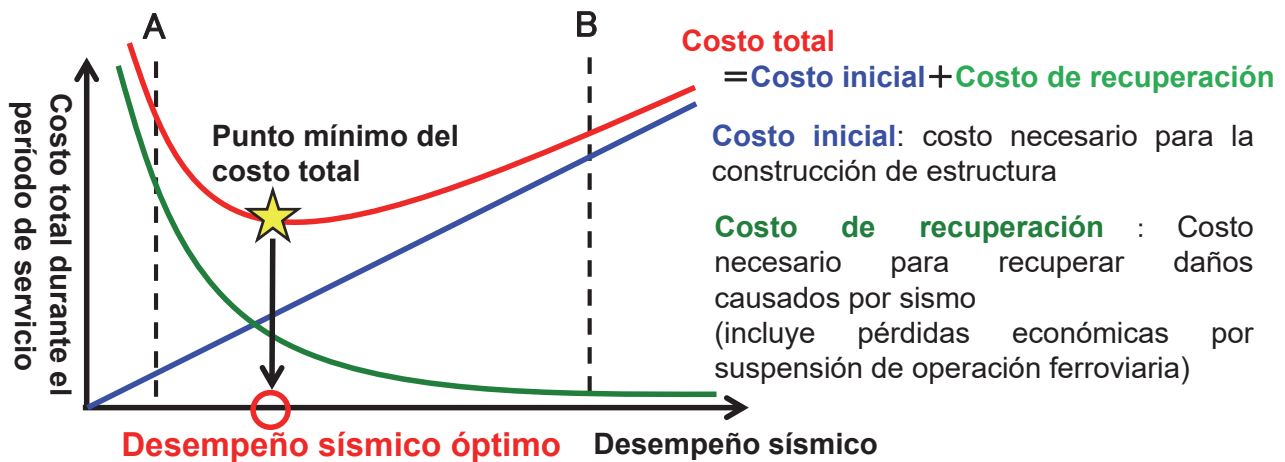
Principales franjas de fallas activas con alta probabilidad de sismo (J-SHIS)

Railway Technical Research Institute

5

## Movimiento sísmico para la verificación de recuperabilidad (Recuperabilidad)

Movimiento sísmico para verificar que la estructura está diseñada apropiadamente en función del tiempo de recuperación y del aspecto económico durante el período de servicio de la estructura.



Estructura A: El costo inicial es bajo, pero se daña fácilmente por lo que el costo de recuperación resulta alto.

Estructura B: Casi no se daña, pero el costo inicial es alto.



Railway Technical Research Institute

6

Hemos visto 3 movimientos sísmicos de diseño que se utilizan en Japón.

- La definición del movimiento sísmico de diseño se basa en el contenido de requisito de desempeño.
- El nivel de movimiento sísmico de diseño se establece teniendo en cuenta el contenido del requisito de desempeño y las actividades sísmicas.
- Para evitar confusiones en el diseño, ya están establecidos los movimientos sísmicos de diseño estándar que se pueden utilizar en la mayoría de las estructuras (Ej. Ver las diapositivas 3 y 4).

### Seguridad

#### ● Seguridad Funcional

➔ **Movimiento sísmico L1:** corresponde al movimiento de sismo que se produce con una probabilidad de ocurrencia de varias veces durante la vida útil de la estructura

#### ● Seguridad Estructural

➔ **Movimiento sísmico L2:** corresponde al movimiento de sismo de una intensidad máxima que puede ocurrir en el sitio de construcción.

### Recuperabilidad

➔ **Movimiento sísmico para la verificación de recuperabilidad:** es el movimiento sísmico para confirmar la pertinencia del diseño de la estructura desde los puntos de vista económico y del tiempo de recuperación.



# Muchas Gracias

# ありがとうございました。

**付属資料-06**

**2021年3月21日 耐震設計セミナーの**

**プレゼンテーション資料**

**耐震設計**

# Diseño sismorresistente del túnel excavado a cielo abierto

Equipo de Estudio de JICA



Shigeo Araki



Railway Technical Research Institute

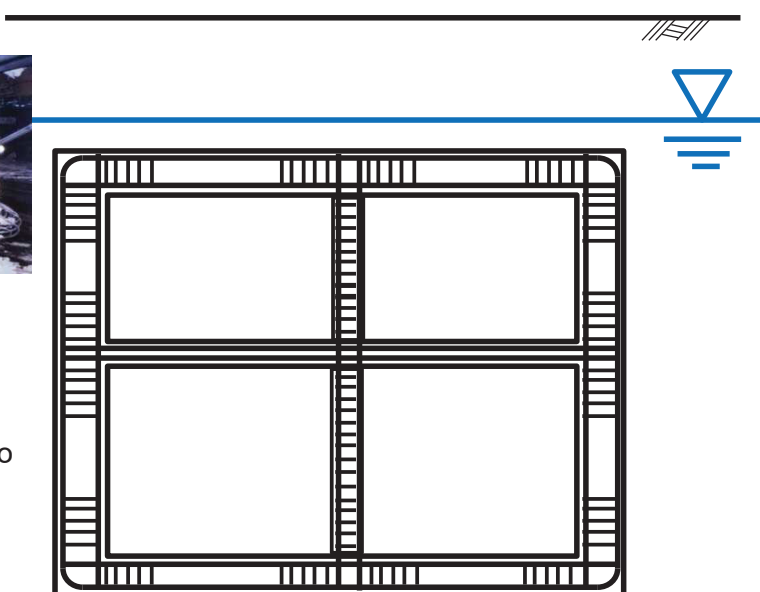
1

## Características de los túneles en Japón

1995.1.17



Diseño basado en el desempeño  
Análisis estructural no lineal



Railway Technical Research Institute

2

# Descripción General

Para realizar el diseño sismorresistente del túnel, se toman en cuenta los factores como el método de construcción de túnel, las condiciones estructurales y las condiciones del suelo en sitio. Y si se considera que el túnel es susceptible a terremotos, se realiza el cálculo del valor de respuesta de diseño del túnel frente al movimiento sísmico de diseño y la verificación de su desempeño de acuerdo con las "Normas de diseño de estructuras ferroviarias".

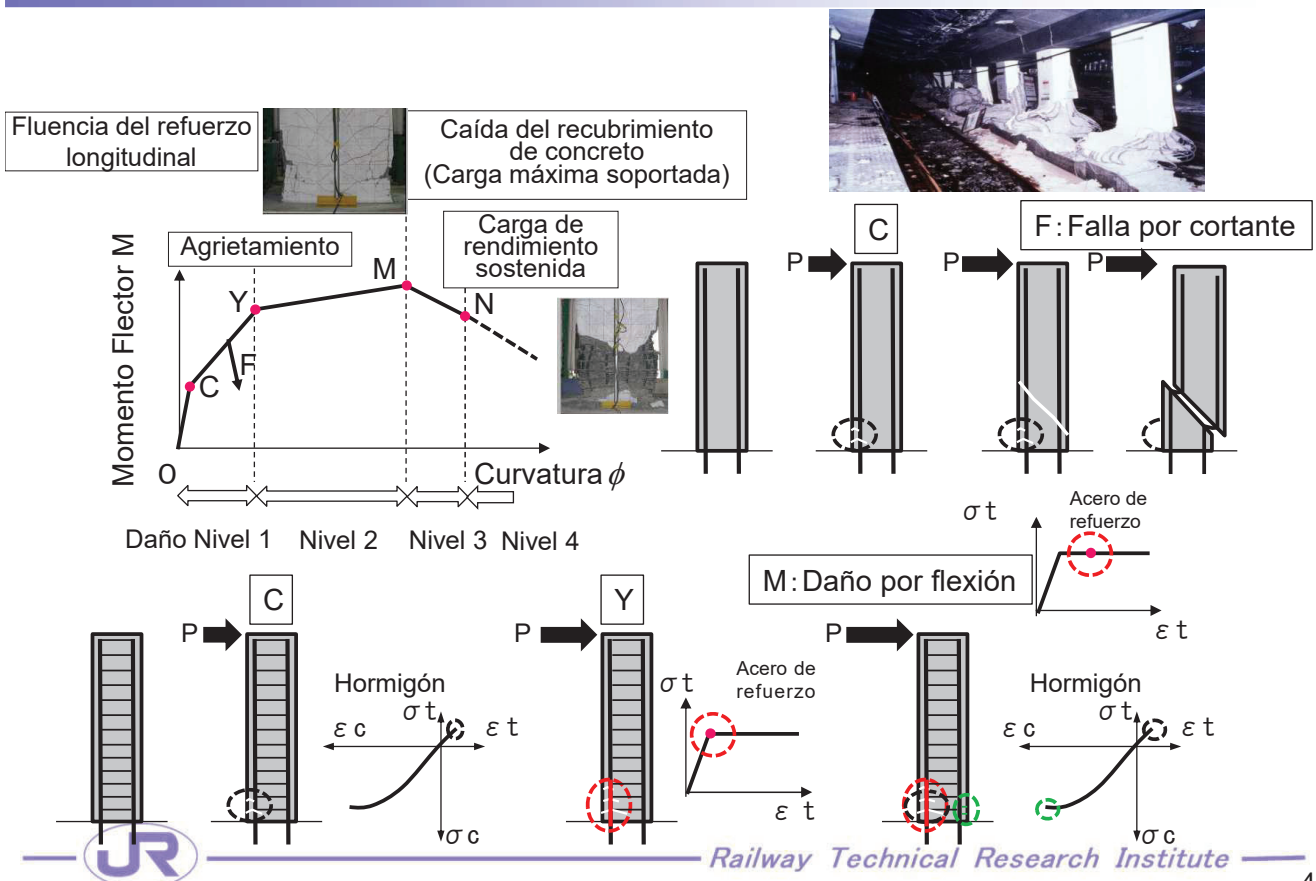
- **Túnel excavado a cielo abierto**: Generalmente se realiza el diseño sismorresistente.

**Estructura esencial** → Verificación de **Seguridad** y **Recuperabilidad**

- **Túnel excavado por escudo** • **Túnel excavado en montaña**  
Generalmente son túneles que tienen alta resistencia sísmica.

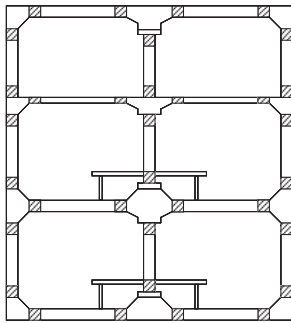


## Daño por flexión y nivel de daño

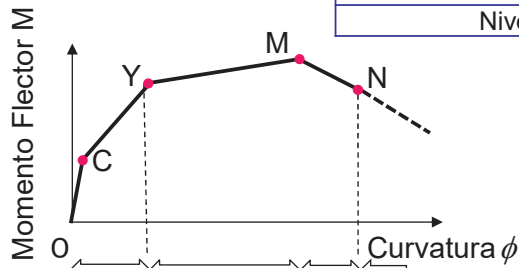


# Verificación de desempeño de túnel a cielo abierto

## Ejemplos de requisito de desempeño de estructura, nivel de daño de elementos y nivel de estabilidad



Requisitos de desempeño de la estructura	Valores limites de diseño para la recuperabilidad	Valores limites de diseño para la seguridad
Losa superior e inferior	2	3
Nivel de daño en los elementos	Losas Soporta las cargas del tren	3
	inter-medias Otros	3
Muro lateral	2	3
Columna central	2	3
Nivel de estabilidad	1	2

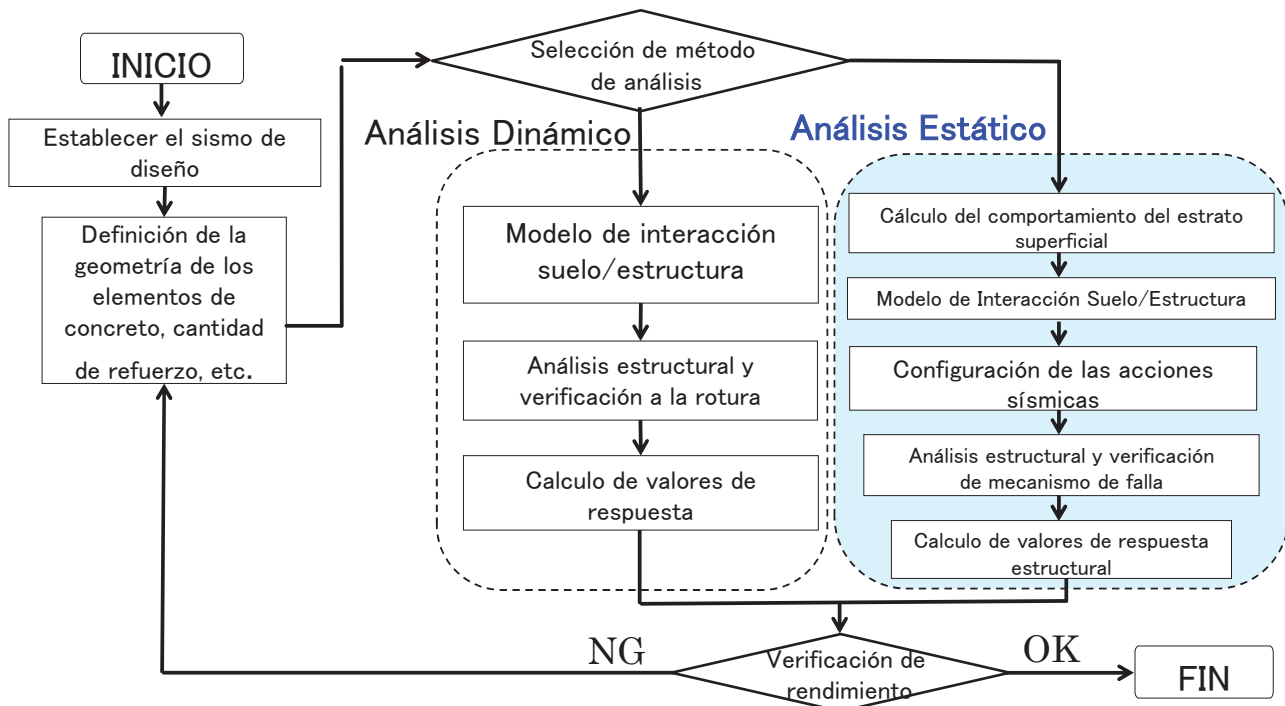


La recuperabilidad se clasifica en “elementos que tardan tiempo o son difíciles de reparar”, y “otros elementos”.

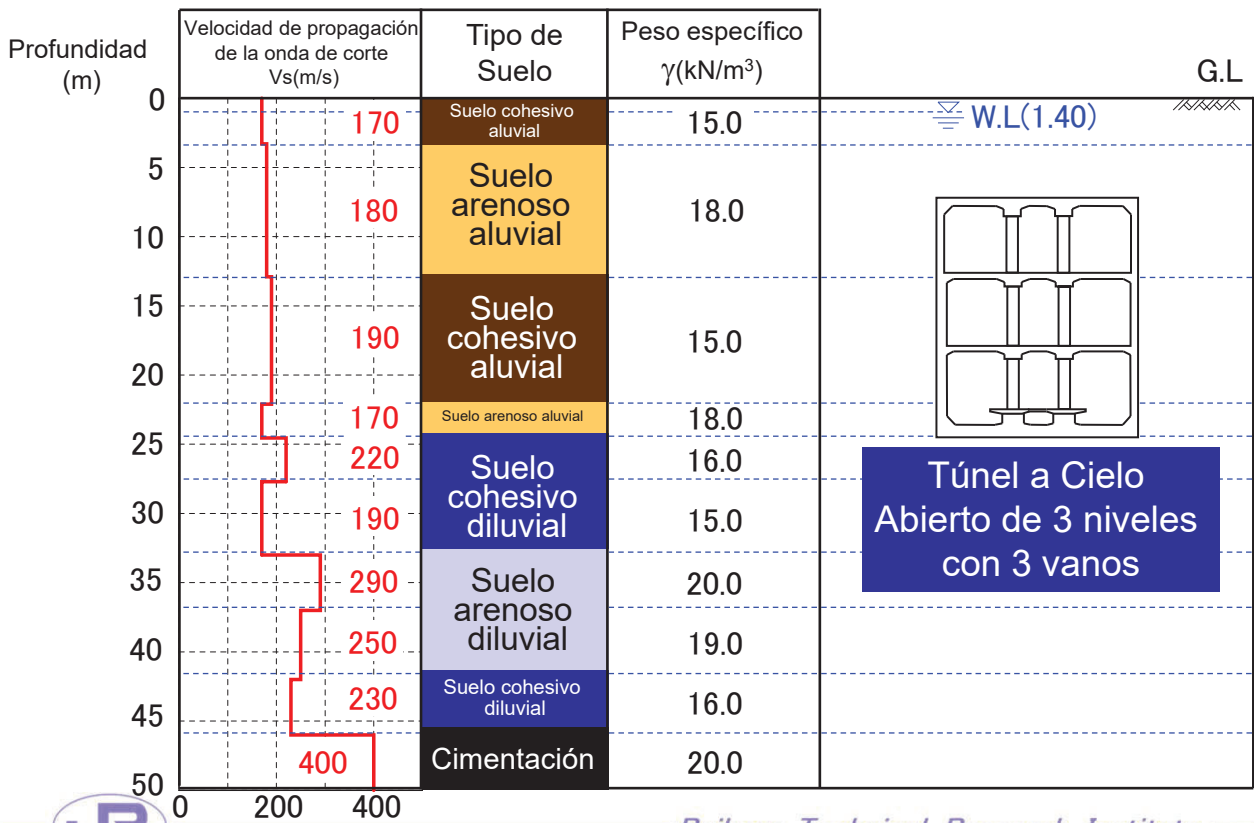
Daño Nivel 1 Nivel 2 Nivel 3 Nivel 4



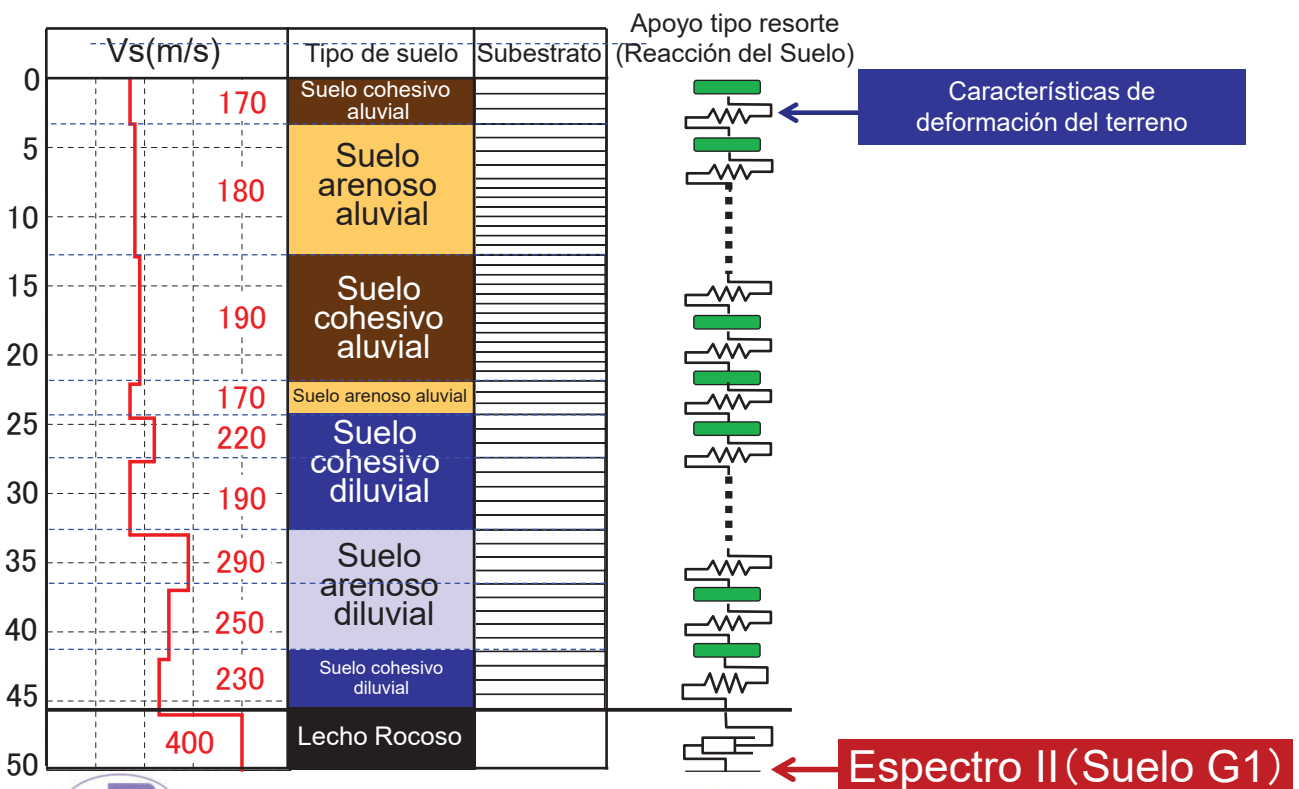
## Flujo del diseño sísmico para túneles de cielo abierto



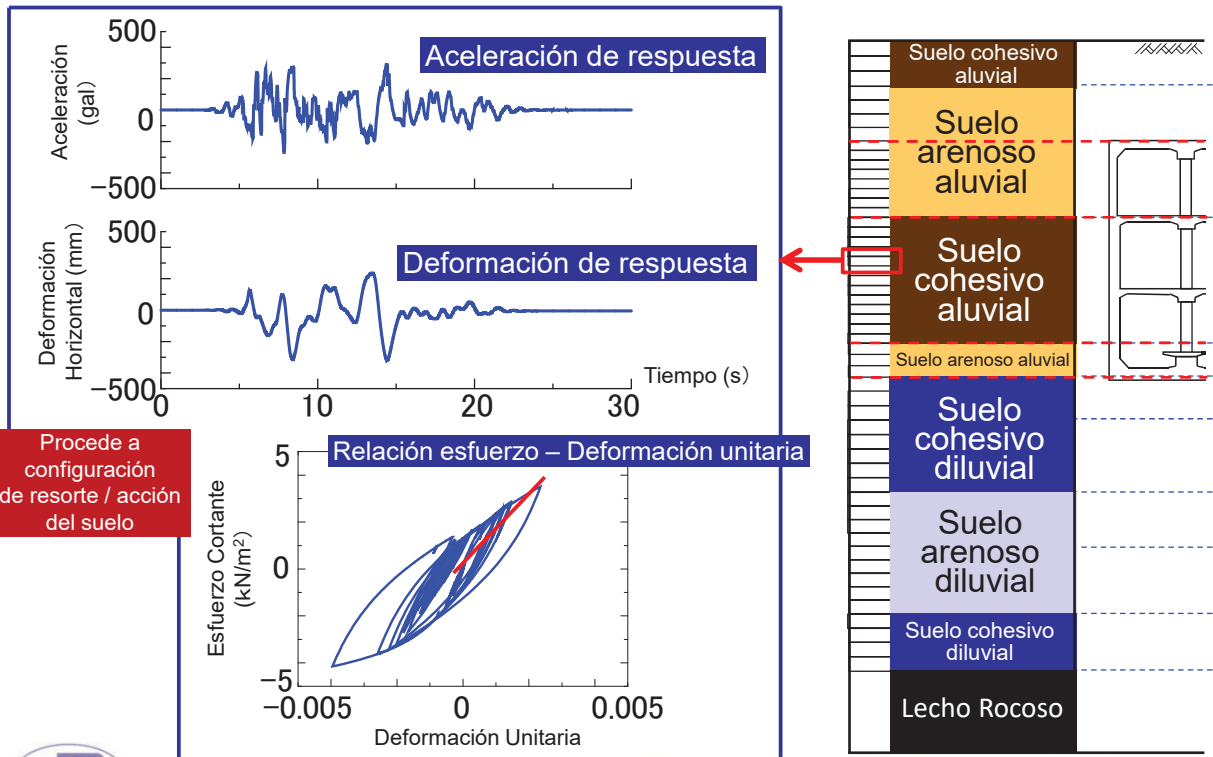




## Cálculo del comportamiento del estrato superficial



# Cálculo del comportamiento del estrato superficial



Procede a configuración de resorte / acción del suelo



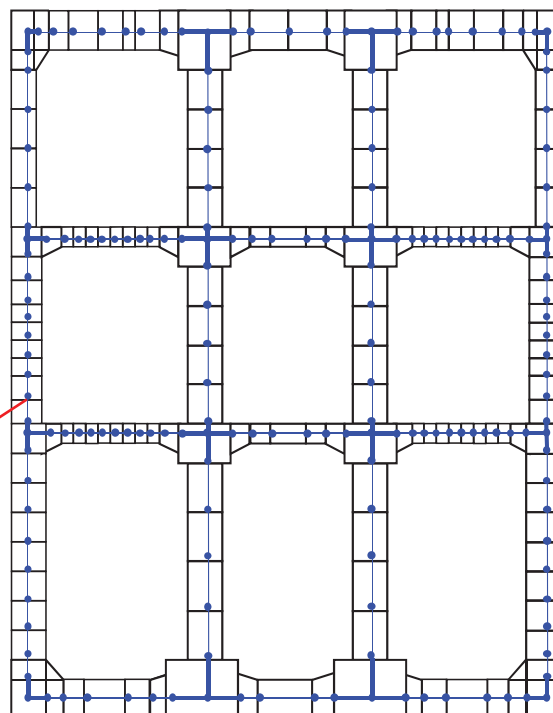
## Modelación de estructura

Modelación de túnel utilizando una estructura de marco



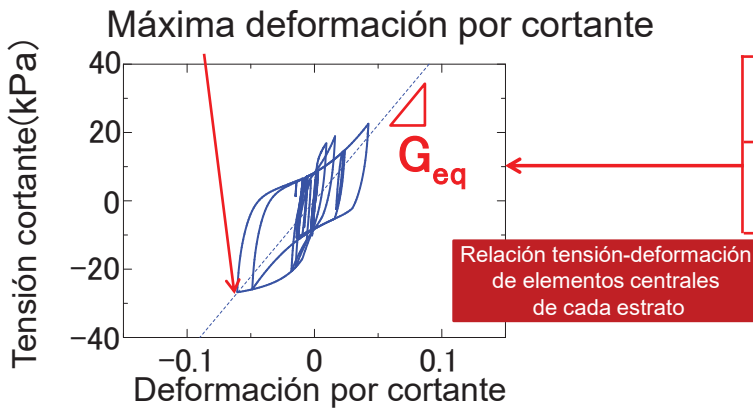
Soportar con resorte de suelo

Modelación por relación  $M-\phi$



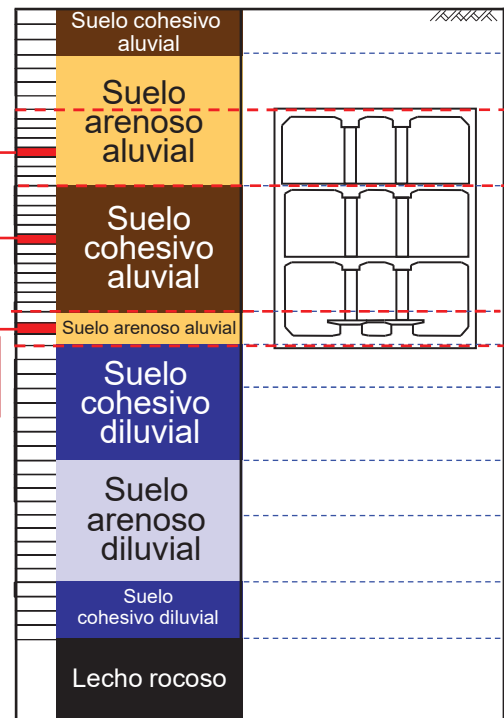
# Configuración de resorte de suelo

Coefficiente de fuerza de reacción vertical/cortante del suelo del **muro lateral**

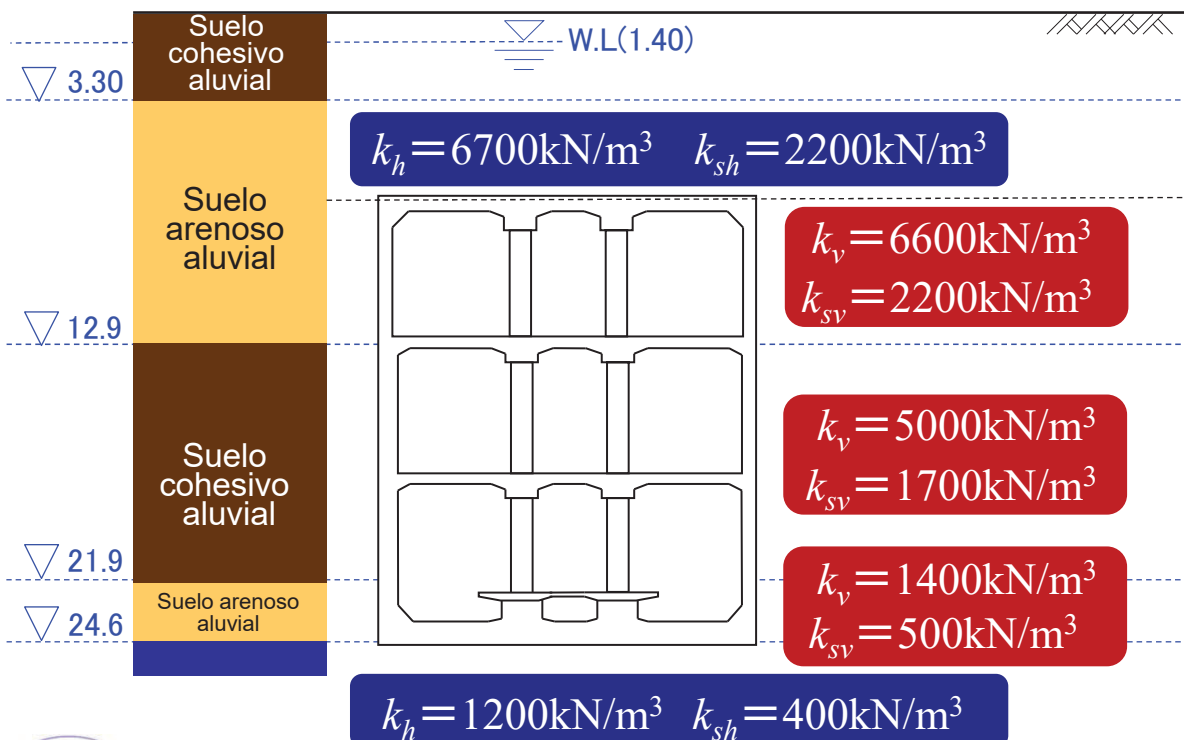


Coefficiente de fuerza de reacción vertical del suelo  $k_v = 1.7aE_0B_v^{-3/4}$

Coefficiente de fuerza de reacción cortante del suelo  $k_{sv} = k_v / 3$

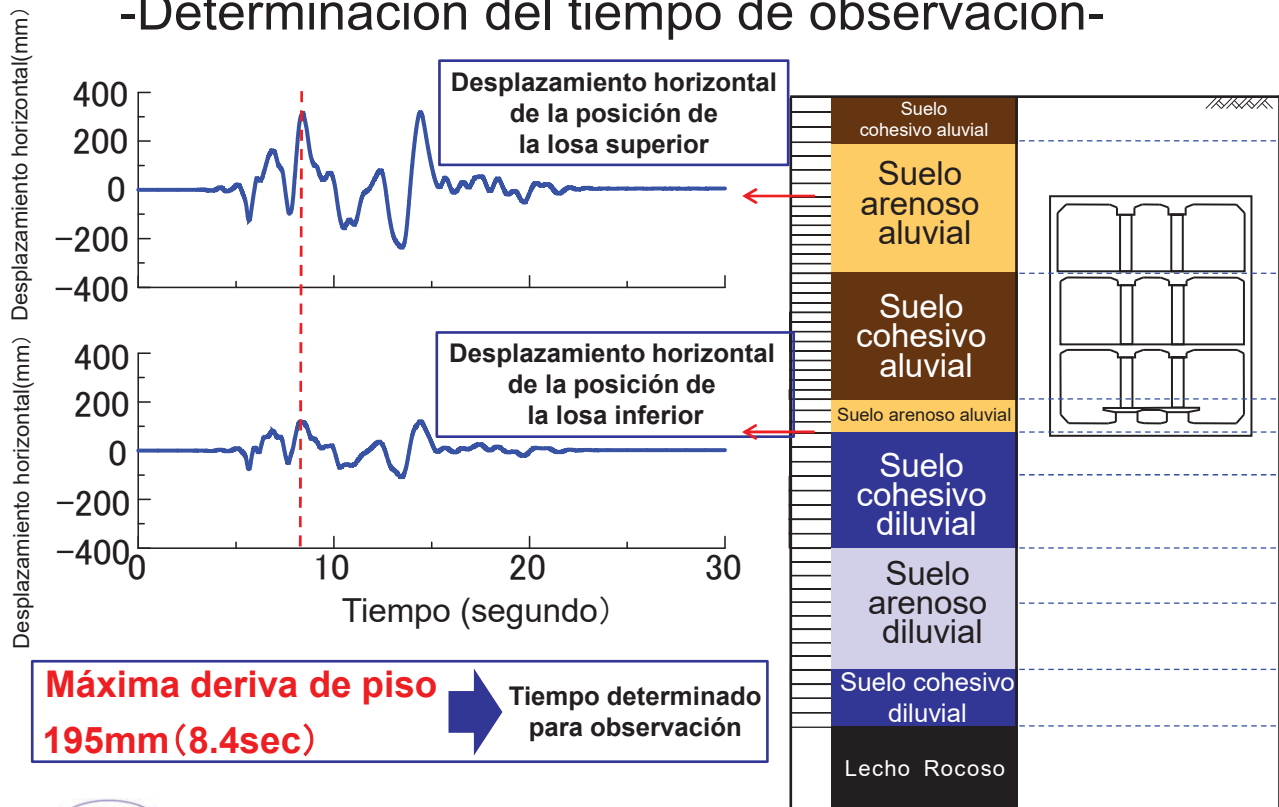


## Modelo de Interacción Suelo/Estructura -Suelo-

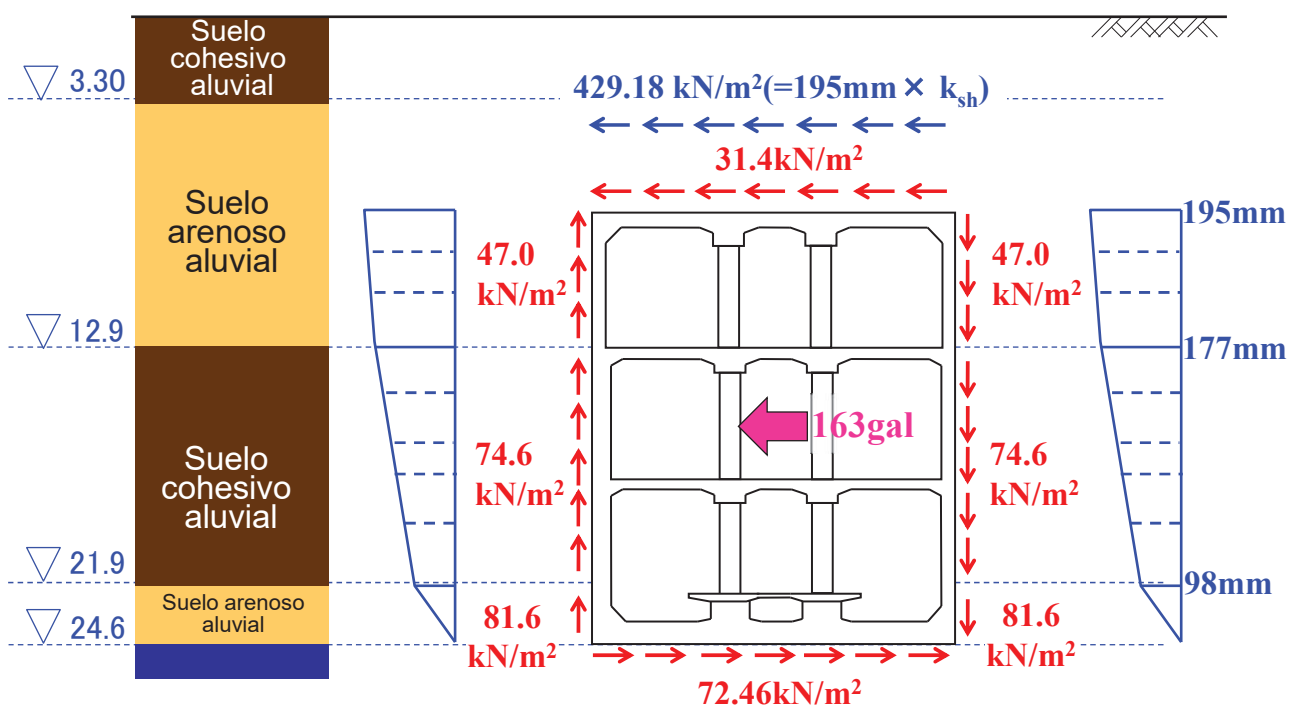


# Configuración de las acciones sísmicas

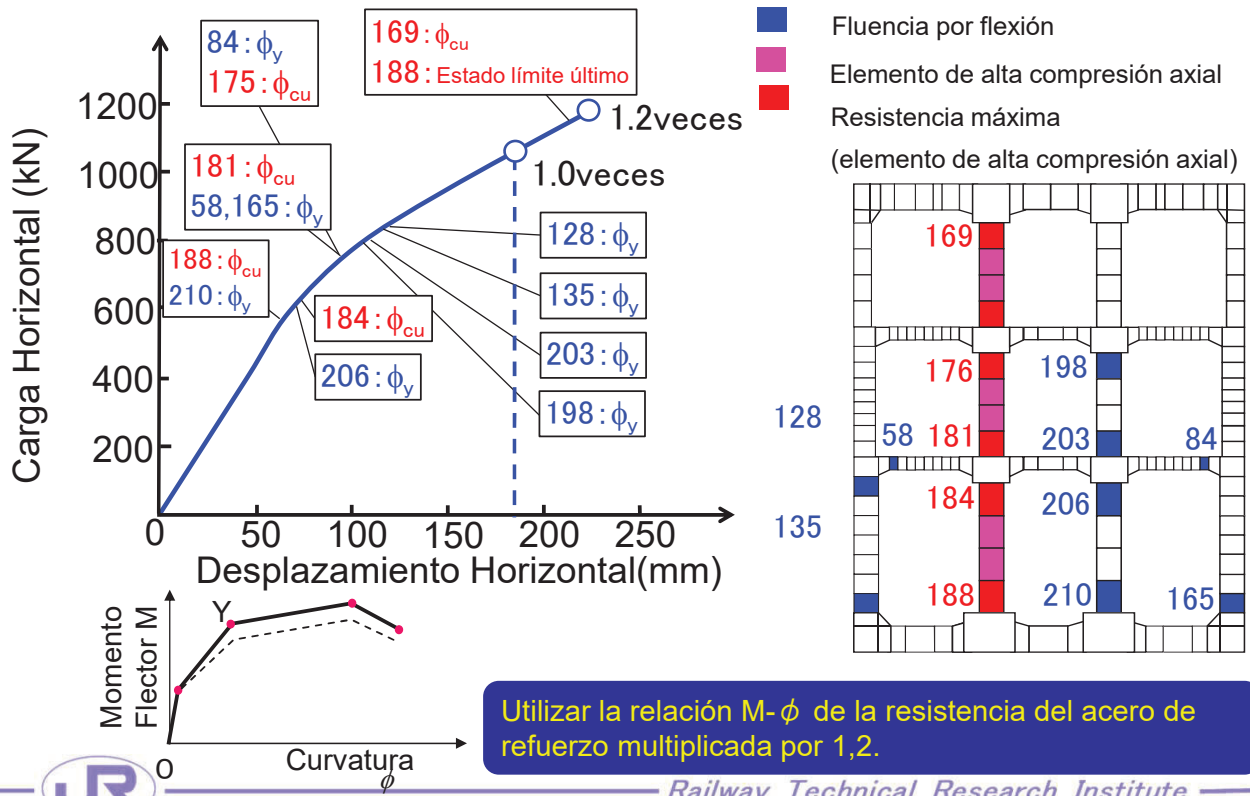
## -Determinación del tiempo de observación-



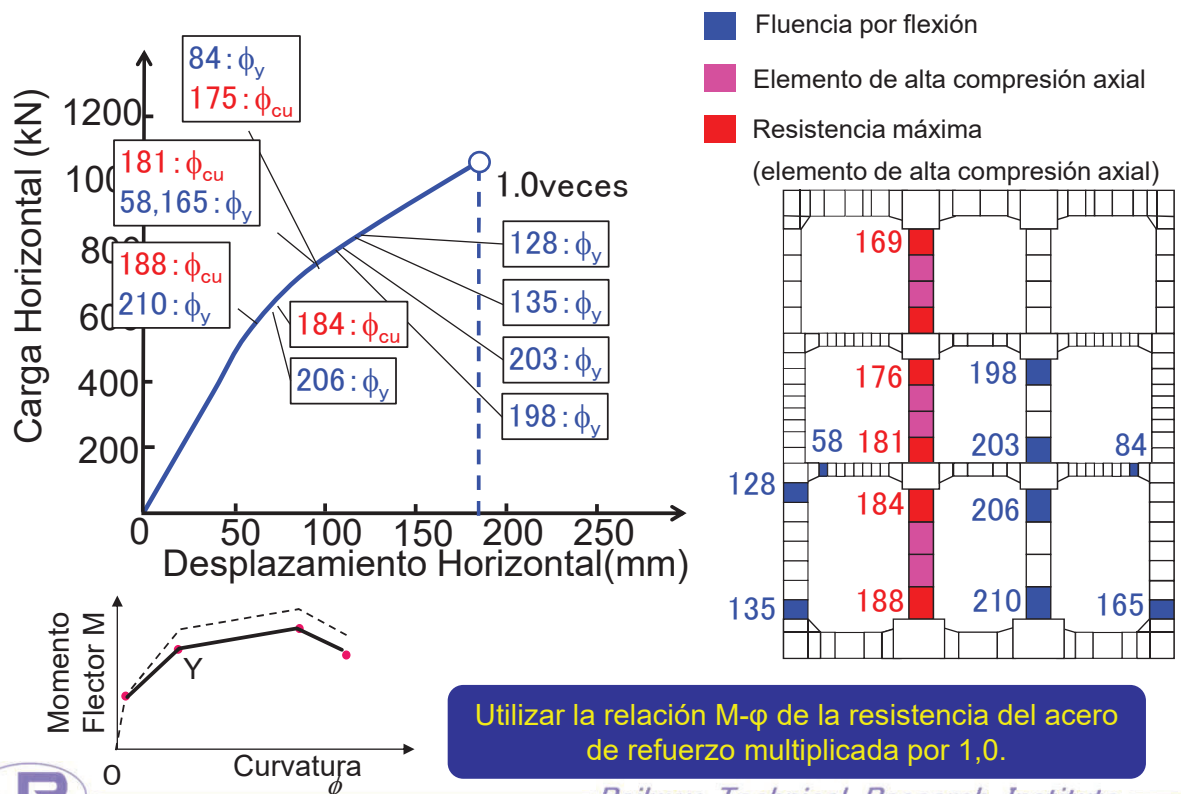
# Configuración de las acciones sísmicas



# Verificación de mecanismo de falla por el método de desplazamiento de respuesta

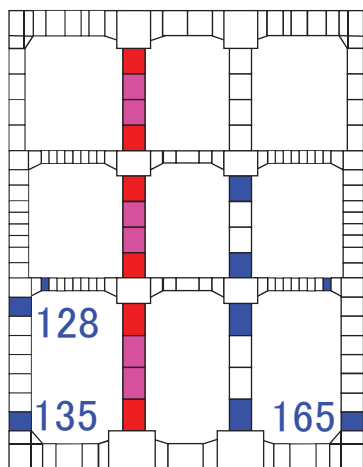


# Cálculo de valor de respuesta



# Verificación de Desempeño

## Verificación de Muro Lateral



Muro Lateral		128	135	165
V. Respuesta	$\phi_d$	0.00990	0.01945	0.02475
Valor Límite de Diseño	$\phi_{yd}$	0.00536	0.00182	0.00683
	$\phi_{md}$	0.03912	0.02954	0.05774
	$\phi_{nd}$	0.04497	0.03337	0.06410
	$\phi_d/\phi_{yd}$	1.847	10.687	3.624
	$\phi_d/\phi_{md}$	0.253	0.658	0.429
	$\phi_d/\phi_{nd}$	0.220	0.583	0.386
Nivel de Daño calculado		2	2	2
Valor Admisible		2	2	2

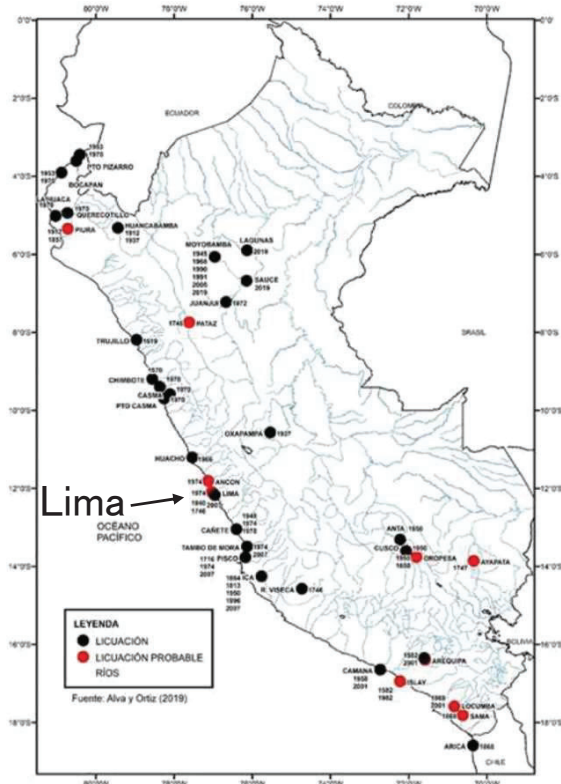


Fig. 15. Map of Soil Liquefaction areas of Peru

## Riesgo de licuefacción

3.1.25. October 3, 1974

Earthquake in Lima. According to Huaco et al [27] and Giesecke et al [28], local liquefaction phenomena occurred in the Cañete valley where the water table is very shallow. The most significant local phenomenon happened at Cooperativa La Quebrada, covering an area of 30.000 m<sup>2</sup>. Maggiolo [29] indicates widespread liquefaction at Tambo de Mora, caused by either subsidence or sinking, with subsequent densification along 4 km, parallel to the beach line. Sand-water mixture ejected from sand boils in the northern area. Espinosa et al [30] indicate possible differential settlements in El Callao due to soil liquefaction, and Moran et al [31] present a view of possible liquefaction in Ancon. The maximum intensity of the earthquake was of MM VIII, the magnitude (Ms) was 7.5 and the maximum acceleration recorded at the Parque de la Reserva station in Lima was 190 cm/s<sup>2</sup> EW component.

Reference: J. Alva et al.(2020):ACTUALIZACIÓN DE LA OCURENCIA DEL FENÓMENO DE LICUACIÓN DE SUELOS EN EL PERÚ



# Evaluación de licuefacción

## Método detallado: Método por análisis dinámico

Evaluar el riesgo de licuefacción calculando el aumento del exceso de presión de poros, etc. utilizando el método de análisis de tensión eficaz.

## Método simplificado: Método por factor de resistencia a licuefacción $F_L$

El factor de resistencia a licuefacción  $F_L$  se calcula en cada profundidad del sondeo, y determina el riesgo de licuefacción del suelo.

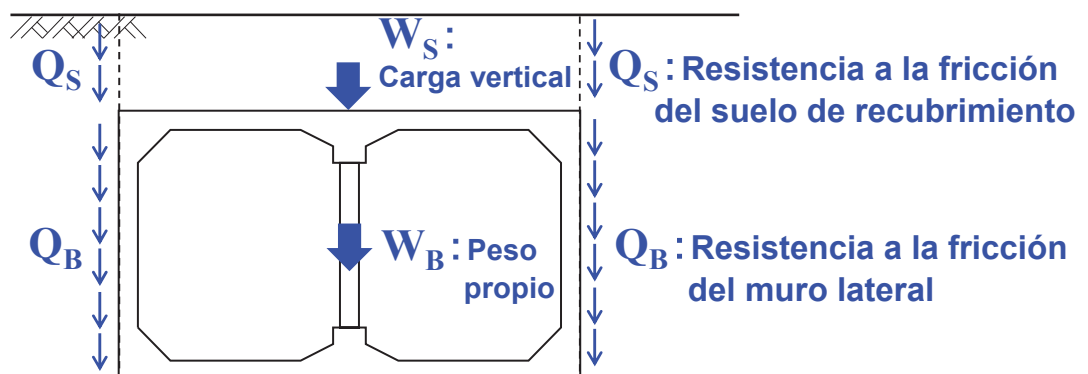
$$F_L = \frac{R}{L} \quad \longrightarrow \quad \begin{cases} F_L \geq 1.0 \dots \text{No ocurre licuefacción.} \\ F_L < 1.0 \dots \text{Ocurre licuefacción.} \end{cases}$$

$R$ : Razón de fuerza de licuefacción,

$L$ : Razón máxima de tensión cortante en terremoto



## Método por factor de seguridad de elevación



$U_S$ : Presión de elevación por la presión hidrostática       $U_D$ : Presión de elevación por el exceso de presión de poros

$$\text{Factor de seguridad de elevación} : \frac{U_S + U_D}{W_S + W_B + 2Q_S + 2Q_B} \leq 1.0$$

Si el factor es menor o igual a 1, no se produce la elevación.



# Verificación del desempeño del túnel a cielo abierto frente la licuefacción

Valor límite de diseño sobre **la estabilidad** (seguridad·recuperabilidad)

Se realiza **cuando el suelo alrededor de la estructura se licua.**

Nivel	Estado
1	Cuando no se produce la licuefacción, Cuando se ejecutan las obras adecuadas de medidas contra la licuefacción, <b>ocurre la licuefacción, pero el factor de seguridad de elevaciones de 1 o menos.</b>
2	Cuando <b>el factor de seguridad de elevación es mayor a 1, pero su rango y grado es limitado, y se considera que no ocurrirá una elevación, el valor de determinación de elevación PL es de 20 o menos.</b>



## Muchas Gracias

ありがとうございました。





## 付属資料-07

### 第5 レポートに対するプレゼンテーション資料

#### 性能マトリクスの例示資料

## Example of the levels of Importance in Japanese Seismic Standards

- ✓ In Japanese seismic standards, the levels of importance of civil structures are set by considering with **3 points** as follows;
  - (1) Influence for evacuation, rescue and secondary disaster prevention.
  - (2) Influence for living function and economic activities.
  - (3) Influence for immediate repairability of urban city function. Difficulty for repair of each structure.
- ✓ The importance of structures are defined 2 or 3 levels in Japanese Seismic standards. Examples of the levels of importance are as follows;

### Railway :

- ①High : Structures of bullet train (Shinkansen) and large city's passenger train, structures that has difficulty for repair such as cut and cover tunnel etc.
- ②Others

### Road bridge :

- ①High : National highway bridges, Urban highway bridges and national road bridges. In local road, road overpass, railway overpass and important bridges in terms of disaster prevention plan and service etc.
- ②Others

### Water supply facility :

- ①High : Facilities that has high risk for secondary disaster such as reservoirs above residential area. Facilities without alternatives etc.
- ②Moderate: Facilities that has low risk for secondary disaster. Facilities with alternatives etc.
- ③Others

- ✓ In railway standards, railway's administrator can decide the levels of importance after considering each structure's situation.

1

## Japanese Standards for railways and roads

### Railway :

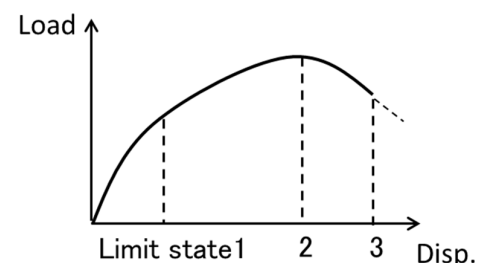
- ①High : Structures of bullet train (Shinkansen) and large city's passenger train, structures that has difficulty for repair such as cut and cover tunnel etc.
- ②Others

	Safety		Repairability
	Derailment	structure	
Earthquake	Level 1(low)	Level 2(high)	(high)
Others	○	○	—
High	○	○	○

### Road bridge :

- ①High : National highway bridges, Urban highway bridges and national road bridges. In local road, road overpass, railway overpass and important bridges in terms of disaster prevention plan and service etc.
- ②Others

	Serviceability	Safety	Repairability
Earthquake	Level 1(low)	Level 2(high)	(high)
Others	Limit state 1	Limit state 3	—
High	Limit state 1	Limit state 3	<b>Limit state 2</b>



2

# MANUAL DE PUENTES

## 1) Critical bridges:

remain open for the transit of all types of vehicles after the design earthquake with a return period of 1000 years, and must be able to be used by emergency vehicles for security and/or defense purposes immediately after a major earthquake with return period of 2500 years.

## 2) Essential bridges:

Those bridges shall be open for emergency vehicles or for security and/or defense purposes immediately after the design earthquake with a return period of 1000 years.

Performance Req.	Serviceability 2	Serviceability 1
Return period of the design earthquake	2500 years	1000 years
Critical	be used by emergency vehicles	open for all types of vehicles
Essential	—	open for emergency vehicles
Others	—	—

3

# MANUAL DE PUENTES

## 1) Critical bridges:

remain open for the transit of all types of vehicles after the design earthquake with a return period of 1000 years, and must be able to be used by emergency vehicles for security and/or defense purposes immediately after a major earthquake with return period of 2500 years.

## 2) Essential bridges:

Those bridges shall be open for emergency vehicles or for security and/or defense purposes immediately after the design earthquake with a return period of 1000 years.

Performance Req.	Serviceability 2	Serviceability 1	Safety
Return period of the design earthquake	2500 years	1000 years	OO years
Critical	be used by emergency vehicles	open for all types of vehicles	not collapse or cause serious damage to people
Essential	—	open for emergency vehicles	
Others	—	—	

4

# MANUAL DE PUENTES + E030

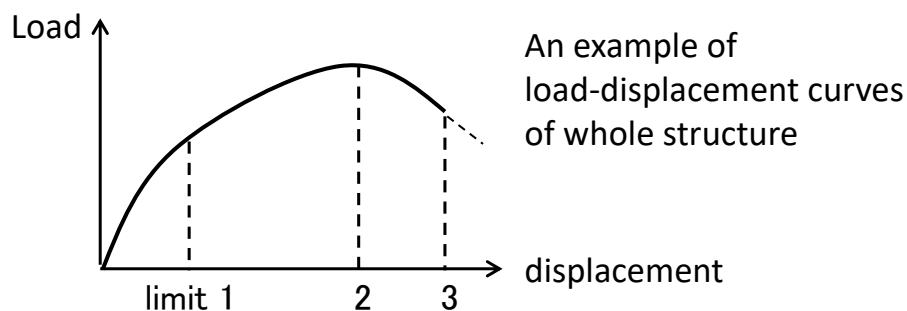
- a. The structure should not collapse or cause serious damage to people, due to **severe earthquakes**, although it could present significant damage.
- b. The structure should withstand movements of the soil classified as **moderate earthquake**, and may experience damage repairable within acceptable limits.
- c. For essential buildings, there will be special considerations aimed at ensuring that they remain in operating conditions after a **severe earthquake**.

	(E030 c)	(E030 b)	(E030 a)
Performance Req.	Serviceability 2	Serviceability 1	Safety
Return period of the design earthquake	2500 years	1000 years	<b>2500 years</b>
Critical	be used by emergency vehicles	open for all types of vehicles	not collapse or cause serious damage to people
Essential	—	open for emergency vehicles	
Others	—	—	

5

## Limit state design method

When we use the limit state design method,



	Serviceability 2	Serviceability 1	Safety
Performance Req.	Serviceability 2	Serviceability 1	Safety
Return period of the design earthquake	2500 years	1000 years	2500 years
Critical	be used by emergency vehicles <b>(limit 2)</b>	open for all types of vehicles <b>(limit 1)</b>	not collapse or cause serious damage to people <b>(limit 3)</b>
Essential	—	open for emergency Vehicles <b>(limit 2)</b>	
Others	—	—	

6

## Performance Requirement for road & railway

**Safety:** All of the structures should not collapse or cause serious damage to people, due to severe earthquakes, although it could present significant damage.

**Serviceability:** The essential structure should ensure the continuity of the basic services. **The basic services required should be defined according to its importance in consideration of social impact, reparability, and so on,**

**Repairability:** The critical structures can be repaired in a short period of time even after a severe earthquake. **The period for repairment can be controlled by damage level of structures permitted.**

Performance Req.	Repairability	Serviceability	Safety
Return period of the design earthquake	2500 years	1000 years	2500 years
Critical	○	○	○
Essential	—	○	○
Others	—	—	○

## 付属資料-08

ペルー国住宅建設省（MVCS）主催の  
オンラインセミナー プレゼンテーション資料  
地下構造物の耐震設計のための技術基準の作成

# Elaboración de la norma de diseño sismorresistente de las estructuras subterráneas

Instituto de Investigación Técnica de Ferrocarriles  
Centro de Investigación de  
Ingeniería Sísmica de Ferrocarriles  
Investigador Senior



Jun IZAWA



Railway Technical Research Institute

1

## Normativa de diseño sismorresistente de Japón

Norma de Diseño Sísmico para Estructuras Ferroviarias y Cometarios (2012)

La norma de diseño fue revisado en base a la experiencia de los desastres del Gran Terremoto de Tohoku (2011) y el Sismo de Kobe (1995).

La norma sísmica se puede aplicar para el diseño de puentes, viaductos, estructuras de cimentación, estructuras de contención (muros, pilares, etc.), taludes y **túneles**.



Esta norma está sujeta a la Norma Internacional ISO23469(2005) y aplica la metodología denominada **diseño basado en desempeño**.



Railway Technical Research Institute

2

## Asistencia a la elaboración de la Norma de Técnica de Diseño Sismorresistente de las estructuras subterráneas (2017-)

MTC del Perú: Elaborando la norma de diseño sismorresistente para las estructuras subterráneas

↓ “¡Queremos adoptar el diseño basado en desempeño de Japón!”

JICA (Embajada del Japón, Ministerio de Tierras, Infraestructura, Transporte y Turismo) Asistencia a la elaboración de la norma de diseño mediante el envío de los expertos en el diseño sismorresistente



Railway Technical Research Institute

3

## Temas de hoy

- ① Historia de los daños sísmicos en Japón y la evolución de la norma de diseño sismorresistente
- ② Concepto del Diseño basado en Desempeño (Concept of Performance based Design)



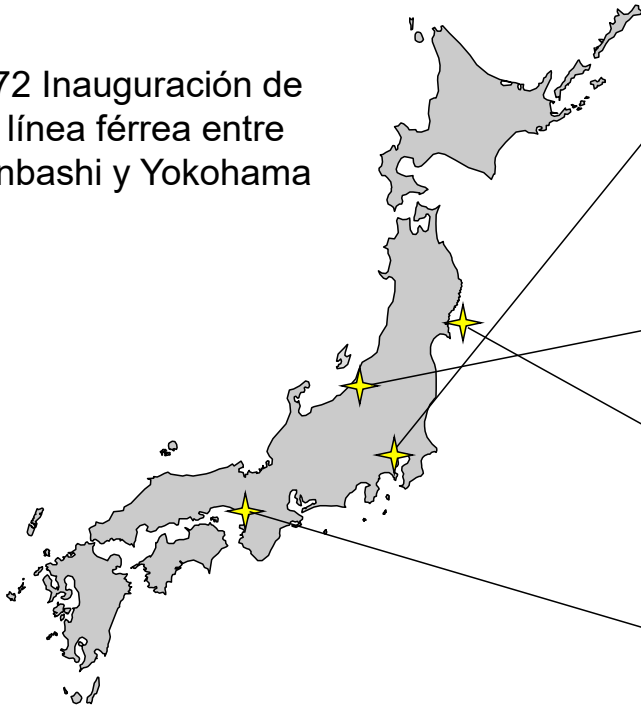
Railway Technical Research Institute

4



# Sismos en el Pasado (~2000)

1872 Inauguración de la línea férrea entre Shinbashi y Yokohama



Año	Sismo	M
1923	Gran Sismo de Kantō	7.9
1927	Kita-Tango	7.3
1930	Kita-Izu	7.3
1948	Fukui	7.1
1952	Tokachi-Oki	8.2
1961	Kita-Mino	7.0
1964	Niigata	7.5
1968	Tokachi	7.9
1978	Izu Ohsima Kinkai	7.0
1978	Miyagi-Oki	7.4
1982	Uraga-Oki	7.1
1983	Nihonkai-Chubu	7.7
1993	Hokaido-Nansei-Oki	7.8
1995	Hyogo-ken Nambu	7.2



Railway Technical Research Institute

5

## 1923 Gran Sismo de Kantō

Magnitud de 7.9  
142,800 fallecidos/desaparecidos



Daños en el terraplén de la vía férrea

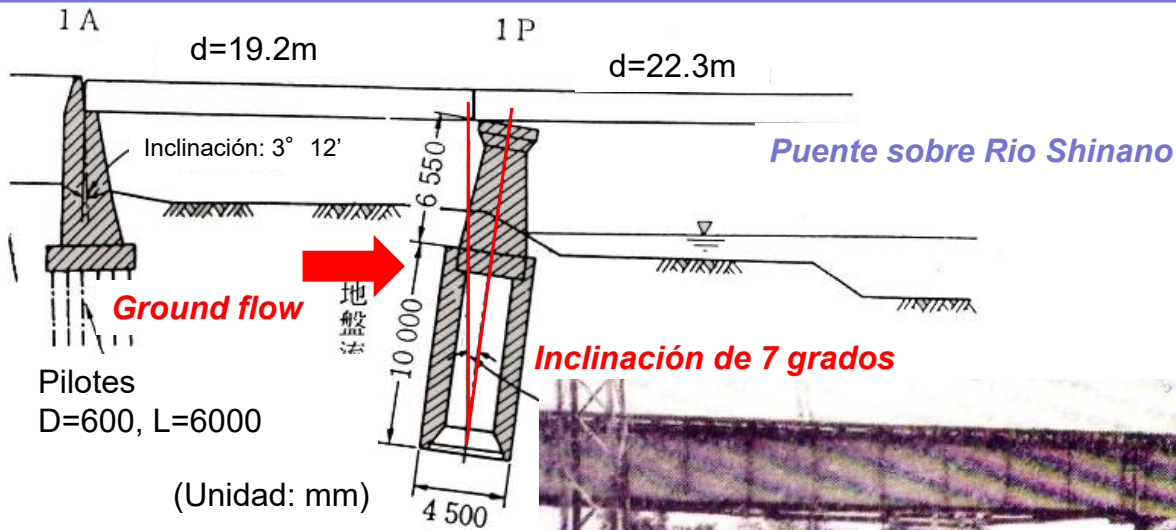
Diseño sísmico con  $k_h=0.2$  desde 1930.



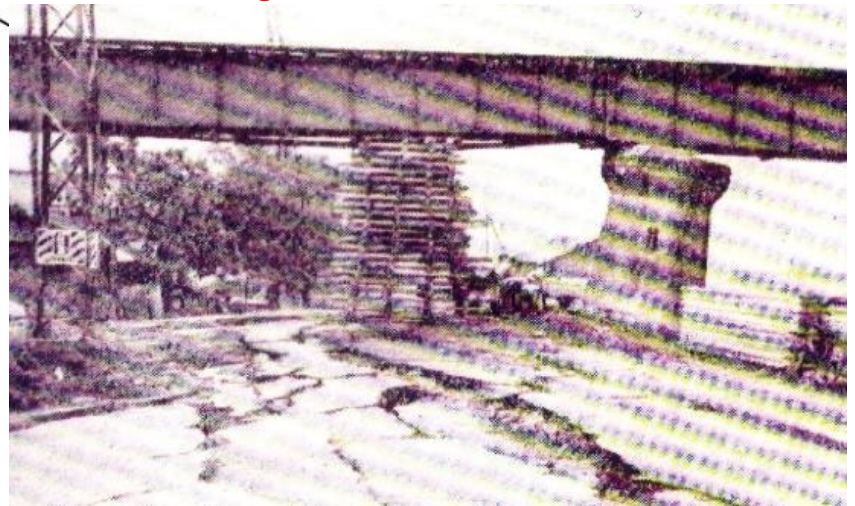
Railway Technical Research Institute

6

# 1964 Sismo de Niigata (M7.5)



A partir del año 1974 se introduce la evaluación de la licuefacción en el diseño sismorresistente



# 1978 Sismo de Miyagi-Oki (M7.4)



Introducción del método de intensidades sísmicas modificado, entre otros



## 1995 Sismo de Hyogo-ken Nambu (M7.2)

- Ocurrió el 17 Ene.1995 a las **A.M.5:46**
- Magnitud: 7.2

Gran impacto con una **intensidad sísmica mayor a 7** golpeó la ciudad de Kobe

Epicentro



Nro. De Fallecidos: 6,434  
Nro. De Heridos: 43,792



Railway Technical Research Institute

9

## 1995 Sismo de Hyogo-ken Nambu (M7.2)

Falla por Corte en Columnas de Concreto Armado



La falla por corte de las columnas de CA causó un daño fatal que concluyó en el colapso de las vigas (falla frágil).



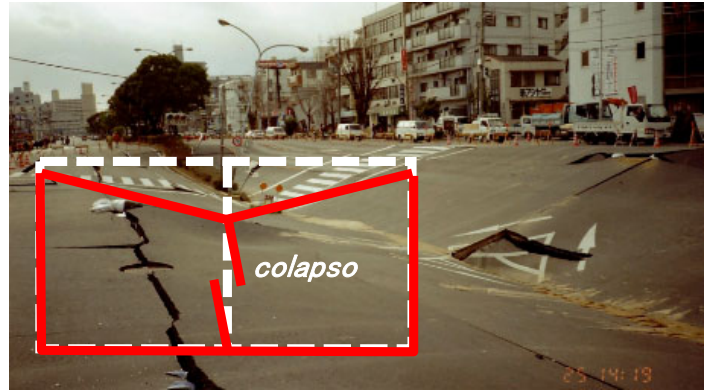
Railway Technical Research Institute

10

## 1995 Sismo de Hyogo-ken Nambu (M7.2)

La **columna central** colapsó debido a una **falla por corte**.  
 Antes de este sismo, en Japón se consideraba que las estructuras subterráneas tenían un alto desempeño sísmico.

● Se necesitó 6 meses para restaurar la operación del ferrocarril.

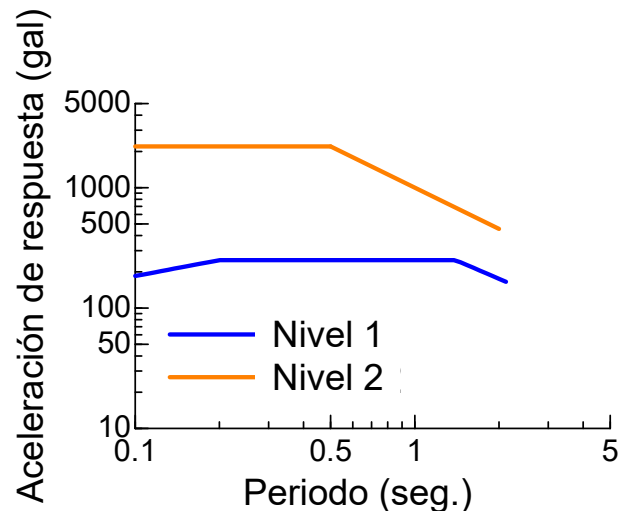


1999 Túnel a cielo abierto:  
 Propenso a tener mayores efectos por sismos → Diseño Sismorresistente  
 Dificultad de restauración → Infraestructuras importantes → Evaluación de recuperabilidad



## 1995 Sismo de Hyogo-ken Nambu (M7.2)

Recubierto con laminas de acero

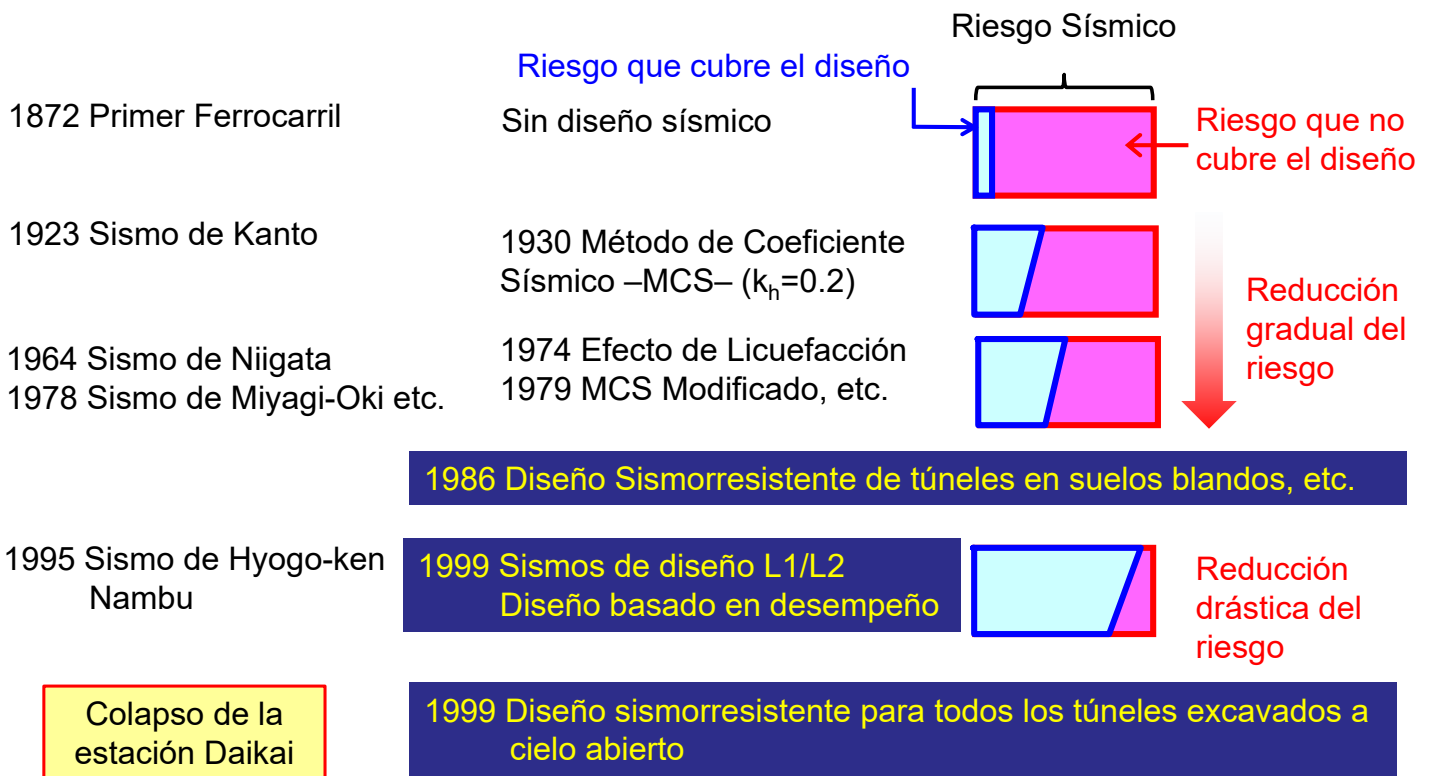


1995~ Implementación de refuerzo sísmico de emergencia.

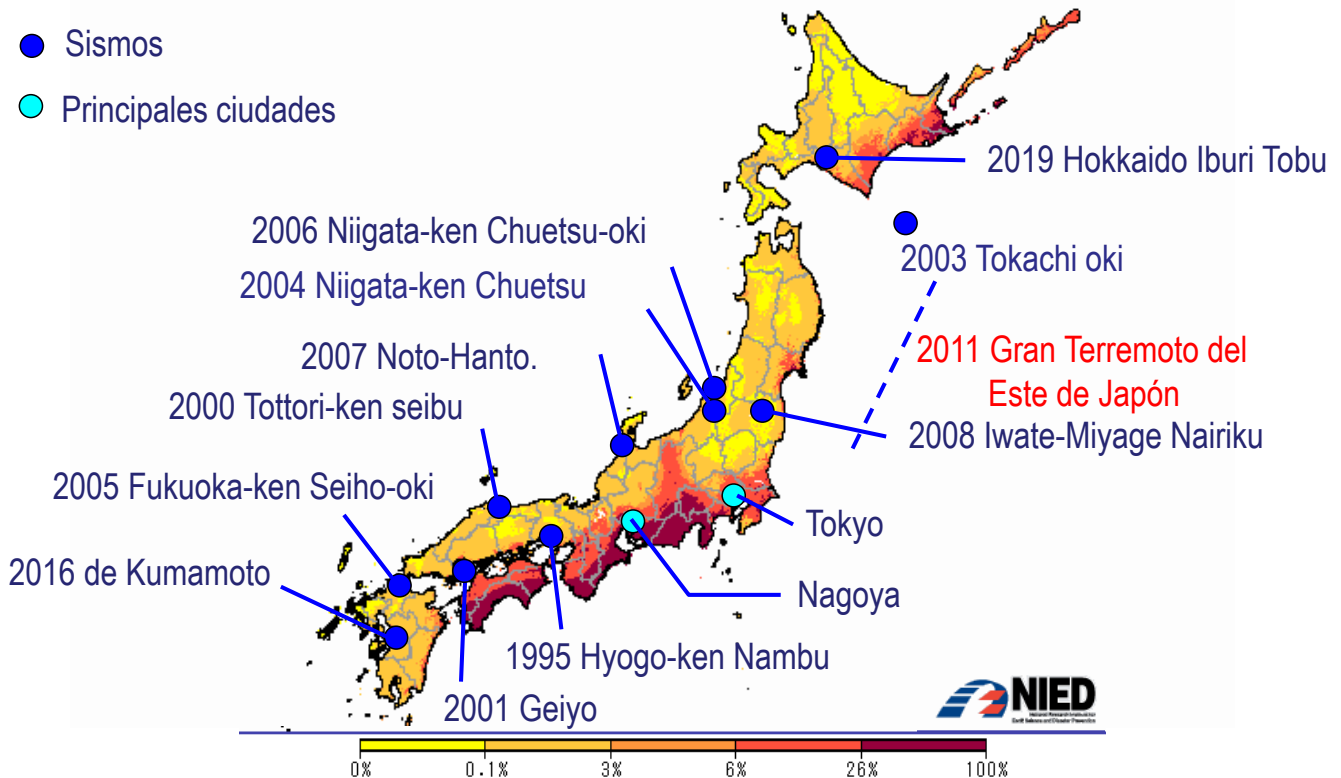
1999 Diseño de dos etapas (L1, L2)



# Desastres Sísmicos y Transición de la Norma de Diseño



# Sismos en el Pasado (2000~)



Probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico con una intensidad mayor a 6 durante 30 años  
(\*Sismos producidos en el océano)



# 2011 Gran Terremoto del Este de Japón (M9.0)

Se produjeron 4 sismos en 1 día, todos con magnitud > 7.0 !!!

M 9.0,  
Sismo principal,  
2:46 p.m.

M 7.4,  
3:08 p.m.

M 7.5,  
3:25 p.m.

M 7.7,  
3:15 p.m.

Numerosas réplicas golpearon el área del desastre una y otra vez.



Railway Technical Research Institute

15

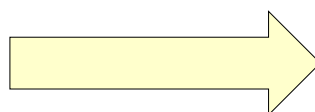
# 2011 Gran Terremoto del Este de Japón (M9.0)

1995 Sismo de Hyogo-ken Nambu

2011 Gran Terremoto del Este de Japón



Falla por corte



Falla por flexión

Con refuerzos sísmicos de emergencia y modificación de la norma de diseño se evitaron los daños catastróficos



Railway Technical Research Institute

16

## 2011 Gran Terremoto del Este de Japón (M9.0)



Muchos postes eléctricos colapsaron debido a la intensidad sísmica. La restauración tomó mucho tiempo en comparación con otras estructuras.

2012 Mención sobre el método de cálculo del valor de respuesta de los elementos de instalaciones complementarias



Railway Technical Research Institute

17

## 2011 Gran Terremoto del Este de Japón (M9.0)



Daños en las vigas y estribos/pilares de los puentes debido a la escorrentía producida por el tsunami

2012 Introducción del Método Anti-Catástrofe

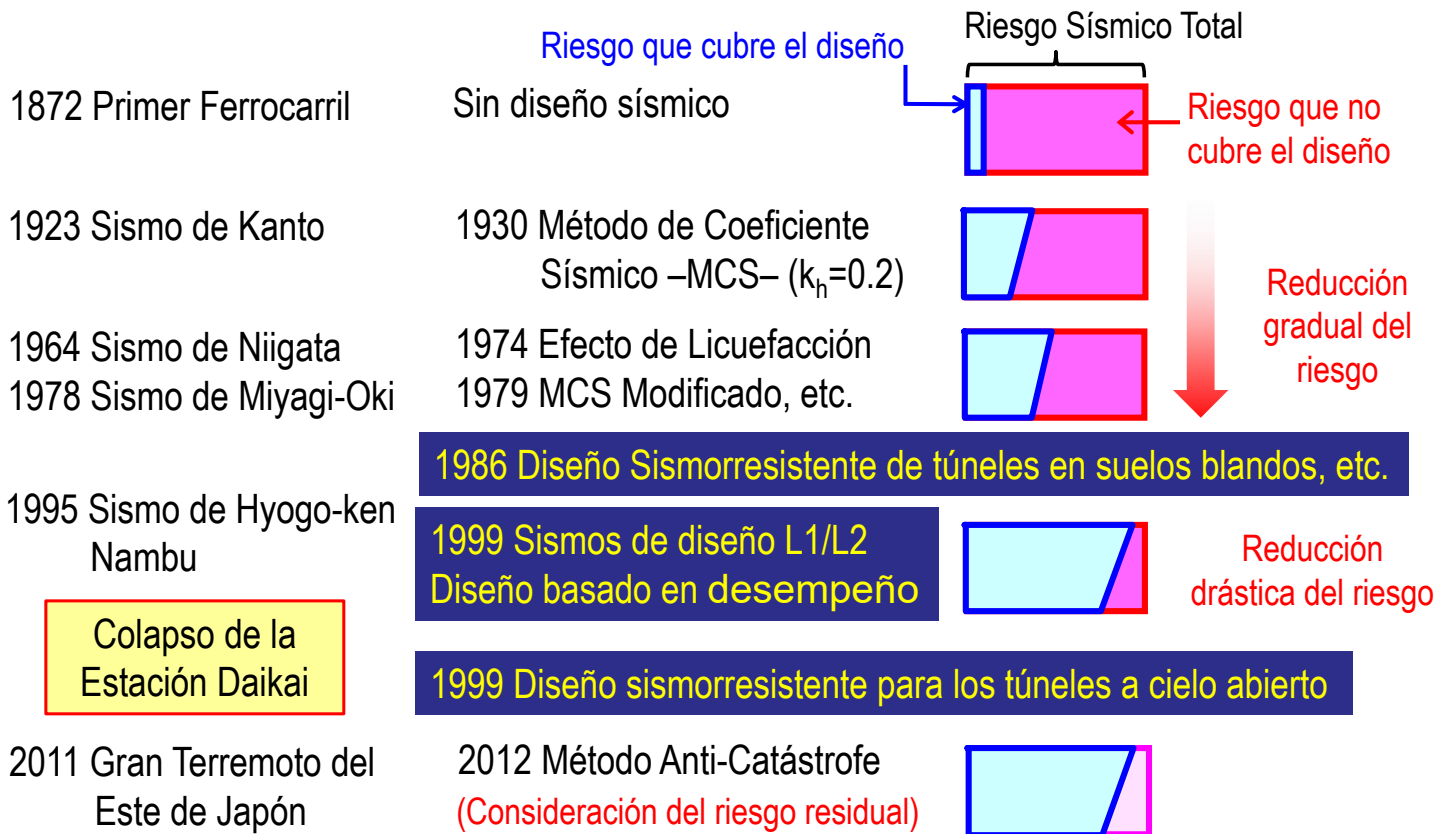
Desempeño que no conduce a una situación catastrófica incluso contra una fuerza externa inesperada



Railway Technical Research Institute

18

# Desastres Sísmicos y Transición de la Norma de Diseño



## Temas de hoy

- ① Historia de los daños sísmicos en Japón y la evolución de la norma de diseño sismorresistente
- ② Concepto del Diseño basado en Desempeño (Concept of Performance based Design)





## Diseño basado en desempeño

Consiste en **especificar el desempeño estructural requerido** y **evaluar objetivamente** si la estructura retiene dicho desempeño a lo largo del período de ensayo.

- Da a conocer a la sociedad el desempeño mediante descripción e indicación para aumentar la fiabilidad;
- permite seleccionar libremente los materiales y el tipo estructural;
- permite aplicar la tecnología innovadora para asegurar el desempeño;
- responde a la globalización tecnológica de los materiales de construcción que circulan en el mercado internacional; etc.



## Ejemplos del desempeño estructural requerido

No causar decesos ante grandes sismos : Seguridad

Permitir rehabilitar en pocos días en medianos sismos : Facilidad de rehabilitar

Permitir el uso inmediato después de sismos menores : Usabilidad

Desempeño requerido	Magn. de sismos	Importancia		
		Alta	mediana	baja
Seguridad	Grande	✓	✓	✓
Facilidad de rehabilitar	Mediana	✓	✓	-
Usabilidad	Pequeña	✓	-	-

Controlar el desempeño según la importancia de la estructura

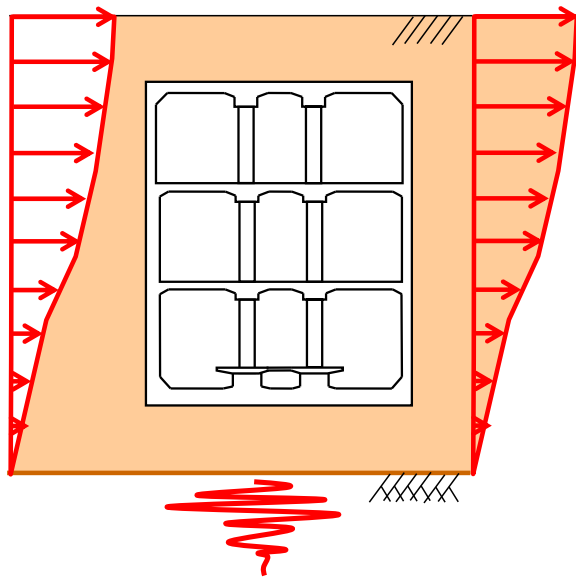


Diseño y construcción económica

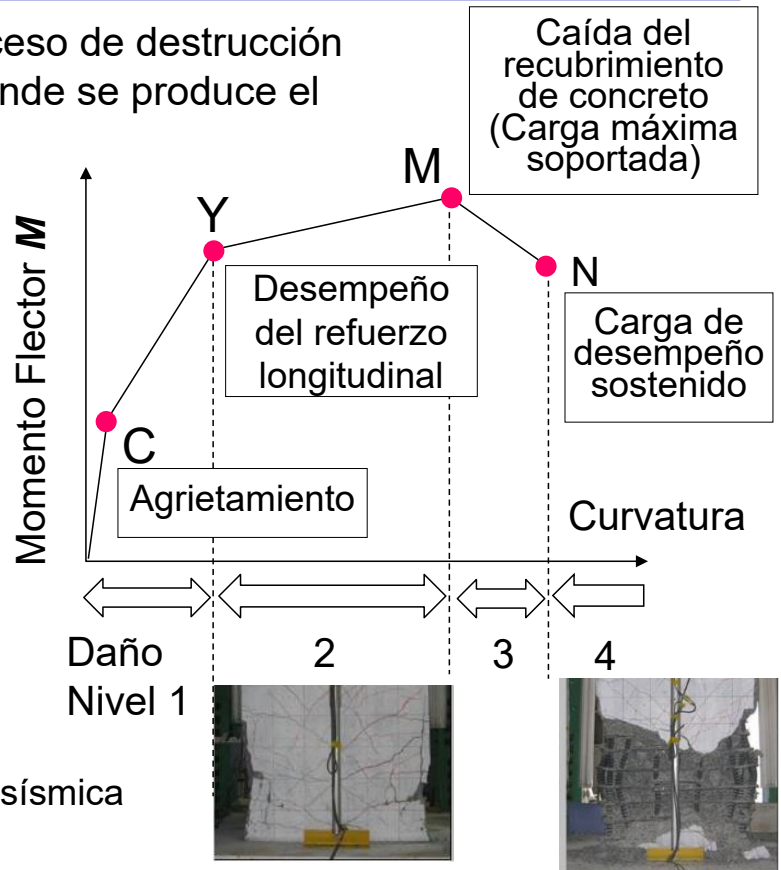


# Evaluar objetivamente el desempeño

Cálculo de diseño: Rastrear el proceso de destrucción de la estructura y calcular hasta donde se produce el daño ante la vibración sísmica.



Deformación del suelo por la vibración sísmica  
Deformación del túnel



## Evaluar objetivamente el desempeño Niveles límite de los daños

Definir los niveles límite de los daños de cada miembro y diseñar para que los daños producidos sean menores a los límites definidos para satisfacer el desempeño requerido.

### Niveles límite de daños de los miembros

	Usabilidad	Facilidad de rehabilitar	Seguridad
Losas superiores e inferiores	1	2	3
Losas que soportan los vagones	1	2	3
Losas intermedias que no soportan los vagones	2	3	3
Paredes laterales	1	2	3
Pilares centrales	1	2	3



**付属資料-09**

**ペルー国住宅建設省（MVCS）主催の  
オンラインセミナー プレゼンテーション資料  
都市の交通計画**

# Planificación del Transporte Urbano

~Para un transporte urbano resistente a los desastres~



30 de octubre, 2020  
NIPPON KOEI Co., Ltd.  
Mochizuki

**NIPPON KOEI**

## Índice

1. Transporte urbano y desastres en Japón
2. Riesgo de desastres en América del Sur (ejemplos en Lima, Perú)
3. Concepto de planificación del transporte urbano resistente a los desastres
4. Ejemplos de medidas tomadas en Japón (Plan)
5. Ejemplos de medidas tomadas en Japón (Infraestructura / Operación)
6. Resumen

## 1. Transporte urbano y desastres en Japón (ejemplos)

Gran Terremoto de Hanshin-Awaji (1995)



[https://www.hanshin.co.jp/company/history/index\\_5.html](https://www.hanshin.co.jp/company/history/index_5.html)

Gran Terremoto y Tsunami del Este de Japón (2011)



[https://www.npa.go.jp/hakusyo/h23/honbun/html/1-toku1\\_2\\_1.html](https://www.npa.go.jp/hakusyo/h23/honbun/html/1-toku1_2_1.html)

Inundación de Fukuoka (2005)

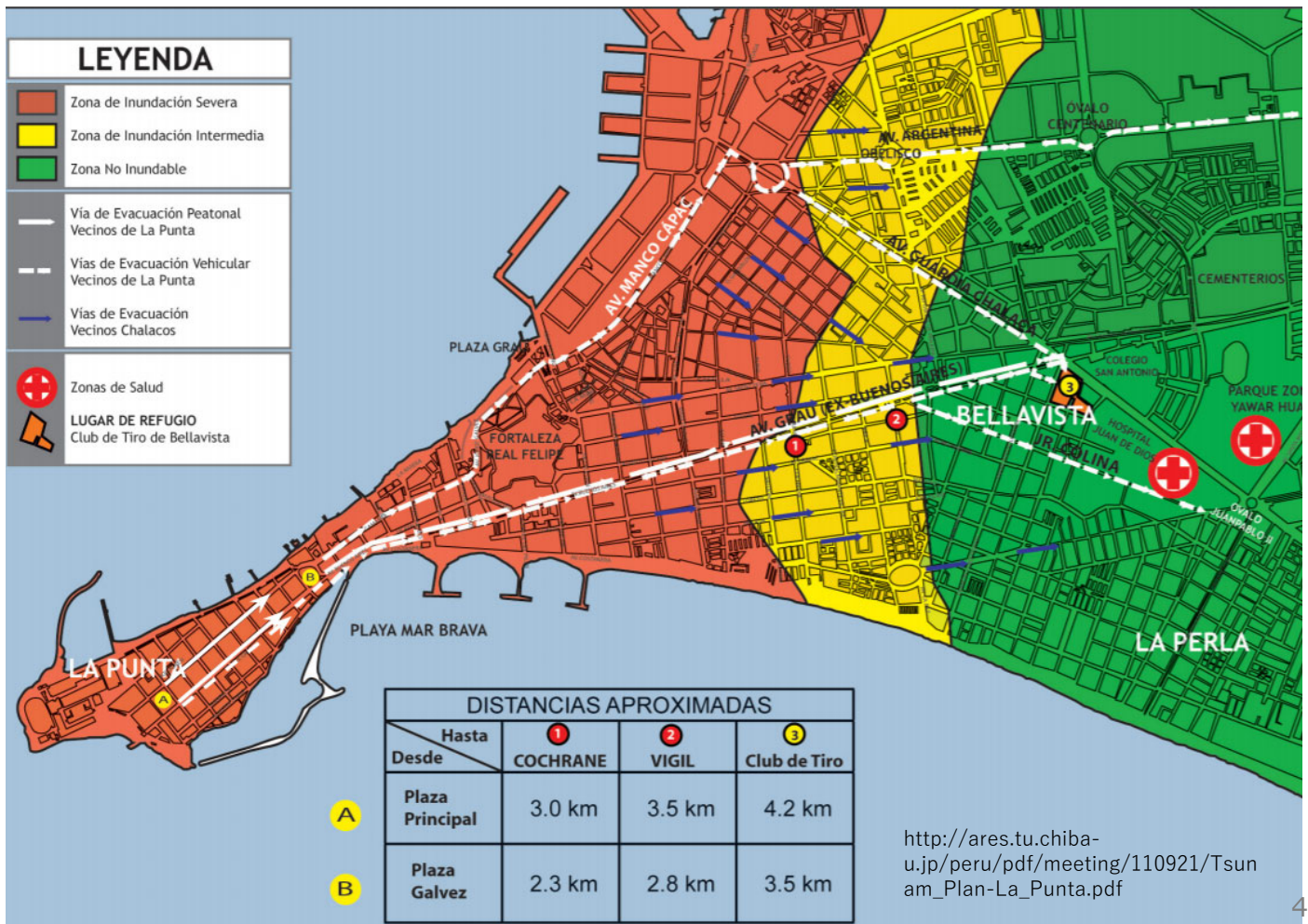


## 2. Riesgos previstos de desastres en América del Sur (ejemplos en Lima, Perú)

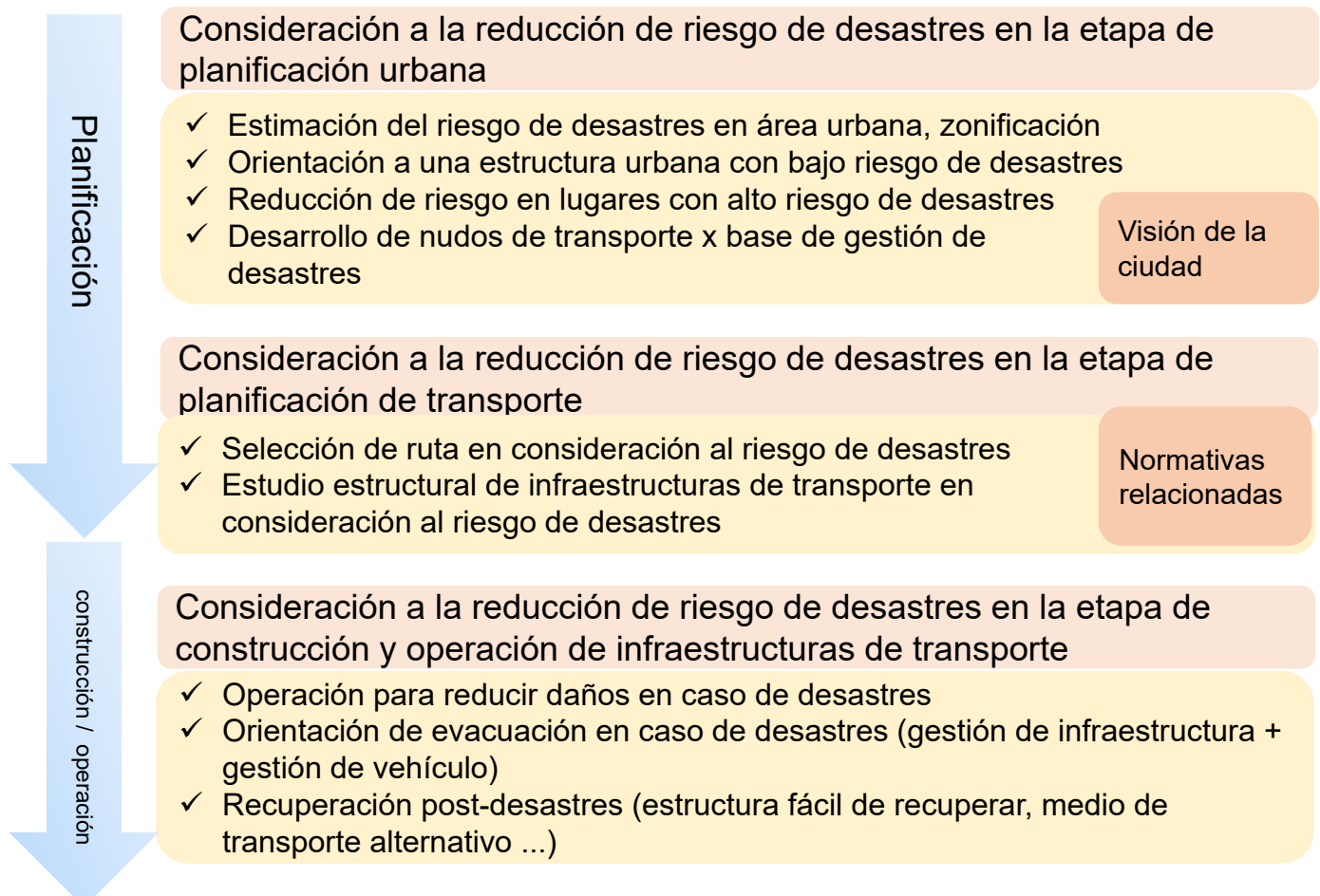
- Daños a las infraestructuras de transporte por el movimiento sísmico
- Daños a las infraestructuras de transporte por el tsunami
- Incendio a gran escala en las zonas urbanas densamente pobladas
- Desbordamiento de ríos e inundaciones debido a fuertes lluvias
- Deslizamientos de tierra en las áreas urbanas con pendiente pronunciada debido a fuertes lluvias



## 2. Riesgo de desastres en América del Sur (ejemplos en Lima, Perú)

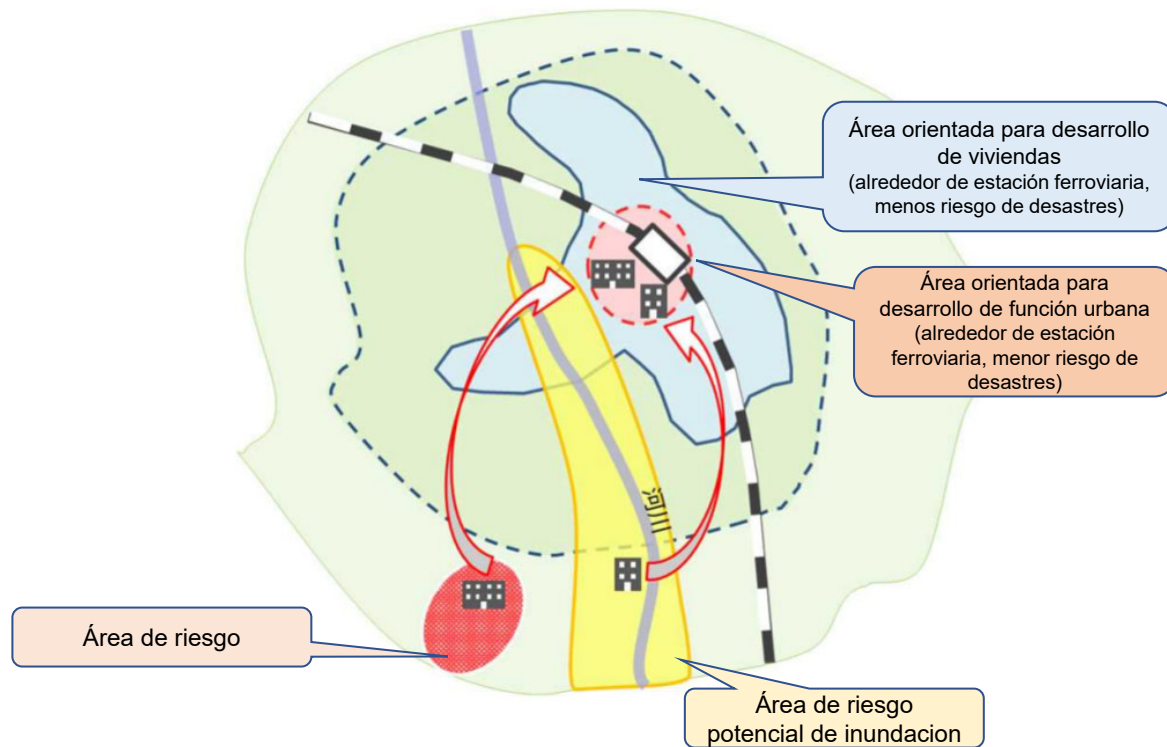


## 3. Concepto de planificación del transporte urbano resistente a desastres



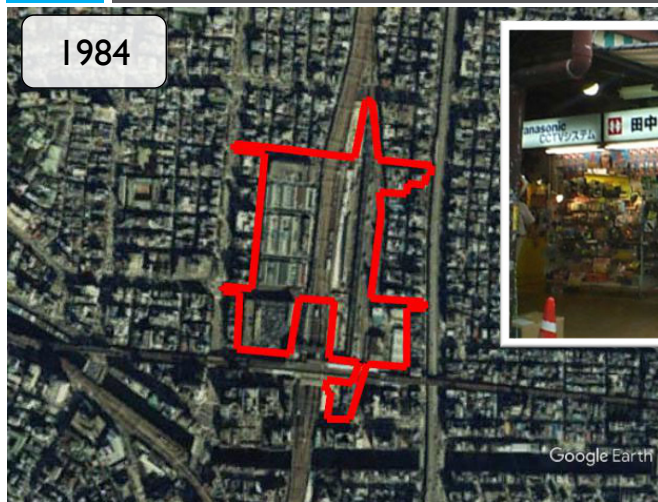
#### 4. Ejemplos de medidas tomadas en Japón (Orientación a una estructura urbana con bajo riesgo de desastres)

- ✓ Priorización de áreas con menos riesgo de desastres dentro de áreas urbanas existentes (plan de optimización de áreas de desarrollo)



<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001326007.pdf> 6

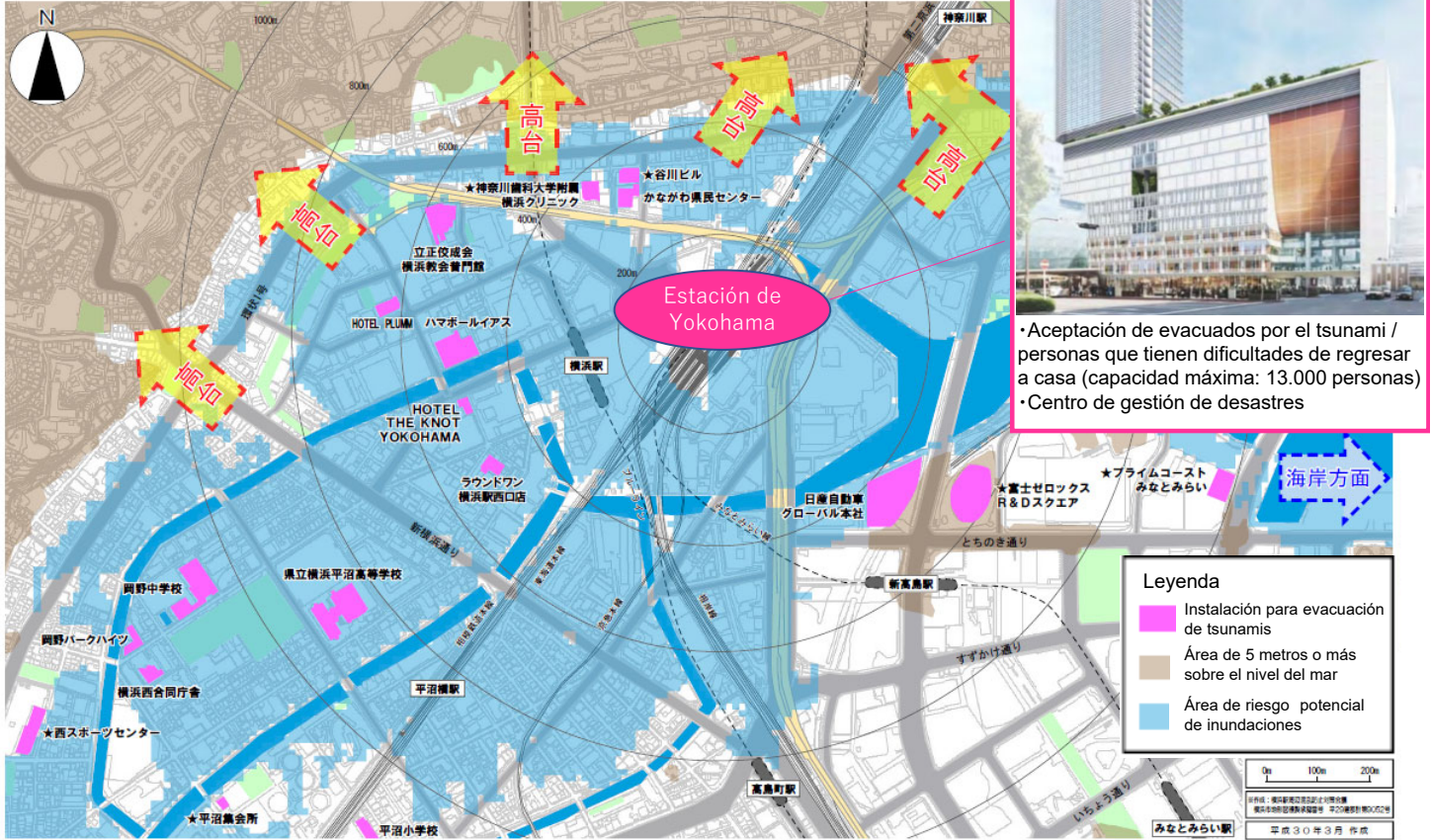
#### 4. Ejemplos de medidas tomadas en Japón (Reducción de riesgo de desastres x Desarrollo de nudos de transporte)



**Zona de Akihabara**  
**Proyecto de acondicionamiento territorial**  
 Propietario de Proyecto : Gobierno de Tokio  
 Período de Proyecto: 1997 – 2011  
 Área: 8.8 ha

## 4. Ejemplos de medidas tomadas en Japón ( Desarrollo de “base de gestión de Desastres”)

**Ejemplo del área cercana a la Estación de Yokohama (Estación de Yokohama: 2.3 millones de usuarios/ día)**



津波浸水想定 : [https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/machizukurikankyo/toshiseibi/toshin/excite22/keikaku/safe.files/0015\\_20190222.pdf](https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/machizukurikankyo/toshiseibi/toshin/excite22/keikaku/safe.files/0015_20190222.pdf)  
 横浜駅再開発ビル : <https://www.jreast.co.jp/press/2013/20140302.pdf>

## 4. Ejemplos de medidas tomadas en Japón (Selección / revisión de ruta en consideración al riesgo de desastres)

**Elevación / reubicación a la zona interior de tramos dañados por el tsunami (Línea Joban)**



<https://townscape.kotobuki.co.jp/works/type1/traffic/233.html>

### Imagen de defensa múltiple contra tsunami



<https://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/666720.pdf>



## Caso del Metro de Tokio



[https://www.tokyometro.jp/safety/prevention/wind\\_flood/pdf/measures.pdf](https://www.tokyometro.jp/safety/prevention/wind_flood/pdf/measures.pdf)

10

## 6. Resumen

- Frente al riesgo de desastres previsible...
  - ⇒ Hacer "máxima preparación" desde las etapas de planificación y construcción
- Frente al riesgo de desastres "imprevisibles" o "fuera de control por falta de tiempo para tomar medidas" ...
  - ⇒ Dar prioridad a salvar la vida humana y suplementar con la gestión operativa
- Japón ha experimentado varios desastres hasta ahora
  - Es nuestro deseo que la experiencia de Japón sirva para reducir los daños...

11