

表4.5.10

材 料 種 別	標 準 震 度 階	
	8	9
無筋コンクリート	12m	10m
モルタル接合の石造	12m	8 m (鉄道) 10m (道路)
日干れんが	3 m	

9) トンネルに対する耐震設計上の留意事項

- 1) 標準震度階が9の地域にある土被り深さが50mまでのトンネルでは、地盤の移動等の可能を考慮してライニングはRC構造とする。
- 2) 標準震度階が8及び9の地域で、杭口付近の土被り深さが15m以下の区間ではRCライニングを用いるものとする。また、プレキャスト部材を用いてもよいが、現場打ちコンクリートにより十分接合するものとする。
- 3) 杭口周辺の地盤の崩壊によりトンネルをふさがないように、杭口周辺の地山は十分水抜きをするものとする。

4.6 建築構法

(1) アルメニア国における主な建築構法の種類と構造上の特徴

1) 構法の種類

アルメニアの建物に用いられている構法の種類についての一番大きな特徴は、構造別において石造及びプレキャスト鉄筋コンクリート造が各用途の建物に非常に多く用いられていること、またその反面、場所打鉄筋コンクリート造、木造、鉄骨造が殆ど用いられていないことである。

石造による建物は5階建て以下のアパートが圧倒的多数を占めるが、このほか寺院、庁舎及び個人住宅等の低層建物が石造となっている。前者は鉄筋コンクリートで補強されているが（以下、補強石造、RMS造と略記）、後者には無補強のものが多い。

プレキャスト鉄筋コンクリート造はラーメン式（以下、RPC造と略記）と壁式（同じくWPC造）とに大別されるが、建物の数から云えばRPC造が圧倒的に多い。また

平屋及び2階建ての工場等にも用いられている。その他、特殊なプレキャスト造及びプレキャスト造と場所打RC造との混合構造などが見られた。

## 2) 構造上の特徴

アルメニアの被害建物について、上記、構法以外の構造に関連する特徴として、以下の諸点が挙げられる。

### a) 石材の使用が著しく多いこと

アルメニアではタフ (Tuff : 凝灰岩を意味する普通名詞) と称する凝灰岩を非常に多く産するため、この石が石造建物の構造材としてばかりではなく、RPC造及びWPC造の外装材やコンクリートの骨材として非常に多く用いられている。

この石は多孔質で、色は紫色を中心に黒っぽいもの、黄色がかったもの等各種あるが、圧縮強度は約25~400 kg/cm<sup>2</sup>で比較的弱く、我が国の大谷石に近い。

写真 4.6.1は首都エレバンのメインストリートに建つアパート群であるが、高い方の建物はRPC造で、タフが外装材として用いられており、また低い方の建物はRMS造で構造材として用いられている。このようにアルメニアの町はどこに行ってもタフの色調が街の基本的な色調をかもしだしている。

また、写真4.6.2.はプレキャスト壁板に外装材として打ち込まれているタフを示し、写真 4.6.3はコンクリートの骨材として用いられているタフを示す。写真4.6.3のコンクリート自体の色が紫色を帯びており、また骨材も全て割れていて、骨材強度が十分には大きくないことが分かる。

このようにやや脆弱な石材が主要構造材又は構造材料として用いられている建物が大半を占めていたことが、建物の重量の増大と脆弱な挙動の増長に関連しているものと推定される。

### b) 床としてプレキャスト (ポイド) スラブが多用されていること。

今回の地震により著しい被害をうけた建物の内、数の上で圧倒的な多数を占める集合住宅の床の構造としてはほぼ例外なく、図 4.6.1及び写真 4.6.4に示すようなプレキャストポイドスラブが用いられている。これは写真 4.6.4に示すRPC造の建物ばかりでなく、大多数のRMS造アパートにも用いられているようである。このポイドスラブは厚さが約25cm前後の一方単支持板であるが、曲げ補強筋 (D12@200程度) が多く用いられており、このため、標準的なスパン長さは約6mと比較的長くなっている。

また、工場建築の屋根スラブには図4.6.1及び写真4.6.5に見られるようなリブ付プレキャスト一方スラブが用いられている。

このように比較的スパンが大きく、しかもはりや壁との接合が耐震的に十分ではな

い床パネルが用いられたことにより、建物の一体性に欠ける構造となっていること、RMS造の壁間隔やRPC造の柱間隔が大きくなっていること、また、床荷重が長辺又は短辺のいずれか一方の架構だけに支持されることなどと併せて、建物の被害を増長した一因になっていると思われる。

#### c) 補強石造建物の切妻屋根の構造

旧市街地の3階建て程度の建物を中心に一部の5階建てアパートなどでは、屋根板の上に、又は妻壁の上に直接木造の小屋組が設けられ、屋根が切妻状をなしているものが標準的な建物形状の1つとなっている。このような切妻部分の破風壁の頂部の補強は、一般に全く行われていない。このため、この種の建物における妻壁の崩壊が多数見られた。これに対し、妻壁が建物頂部まで鉄筋コンクリートで補強されている建物では、むしろ妻壁を含む部分が、他の部分に較べて健全である例が多く見られた。

この様に、組積壁の頂部の補強に関する標準的な詳細の不在が石造建物の被害の増長に関係していると考えられる。

#### d) 直接支持による基礎

アルメニアで多く用いられている基礎工法を図4.6.2に示す。

被害建物について実際の基礎工法を確認できた例は少ないが、4.2にも記した様に、レニナカン、スピタク及びキロバカンの諸都市の地盤は比較的良好であり、建築研究所の説明によれば、例え9階建ての建物でも杭を用いた例はなく、直接支持の場所打連続基礎が多いとのことであった。但し、ボーリング調査は行うものの標準貫入試験は全く行った例がないという説明があった。

また、現地で確認した少数の例では図4.6.2に示したようなプレキャスト造と思われる基礎も見られた。

建物の外装が石貼り等であるため、不同沈下等に起因して生じる特定の傾向のひびわれは確認できなかったが、9階建てなどの重い建物では敷地により、支持力が十分ではなかった例はなかったのか疑問の残る所である。

### (2) 5階建てを中心とする補強組積造

この構造は、鉄筋コンクリートで補強した石造による構造壁とプレキャストコンクリート(PC)床板及び屋根板とによって構成される構造である。または、石造壁の上に直接木造トラス等(一部PCトラスも見られた)を設け、切妻状の屋根を構成している例も少なくなかった。

石造の構造壁の種類は用いる石の形状により、図4.3及び写真4.6.6の2種類に分類され、また目地や充填用に用いるモルタの引張強度の値により3種類(0.6~1.2 kg/cm<sup>2</sup>、1.2~1.8及び1.8 kg/cm<sup>2</sup>以上)に分類される。

この他、補強組積造に関しては、耐震法規（SN&P I I - A、12-69、1969年版）に、壁の寸法、形状、使用材料及び補強等について主として次のような規定がある。

（〔 〕内は同規定の条文番号を示す）

- i. 同一居住区内では同一の壁材料を用いる（写真4.6.6では階毎に種類が異なっている）。また、窓の幅とピア（窓間壁）の長さを同じとすることを推奨する。〔3-29〕
- ii. 震度階7と8及び9の地域に建てる組積造建物については、水平動と同時に、それぞれその15%（7と8の地域）及び30%（9の地域）の上下動の作用を考慮して設計する〔3-30〕。
- iii. 組積造は目地や充填部分に用いるモルタルの引張強度により3つの等級に区分し、各等級の構造を建てることのできる地域を特定している〔3-31〕。
- iv. 震度階7、8及び9の地域に建てる建物の階高はそれぞれ6、5及び4m以下とする。また、壁厚に対する階高の比は12をこえてはならない〔3-36〕。
- v. 壁の間隔は建設地域及び壁の等級により定められる値以下（例えば9の地域に、等級1の建物を建てる時は12m以下）とする〔3-37〕。
- vi. 壁部材の寸法等は計算によって定めるが、ピアの所要下限長さ（9の地域、等級1で1.16m）、開口幅の上限値（同じく2.5m）やピアの長さの開口幅に対する比の下限（同じく0.75倍）等については規定を下回らない〔3.38〕。
- vii. 全ての壁の頂部一床レベル位置には、場所打ちRC造の耐震がりょうを設置する。また、最上層のがりょうはその直下の壁と補強筋にて直結する〔3.39〕。
- viii. がりょうの幅は壁厚以上、せいは15cm以上とし、用いるコンクリート強度は150 kg/cm<sup>2</sup>以上、補強筋は4-10φ以上（地域9では4-12φ以上）とする〔3.40〕。
- ix. 壁の交叉部分では、高さ70cm（地域9では50cm）毎にメッシュを2mの長さに用いて補強する〔3.41〕。
- x. 組積壁の耐震性を増すために、その壁内に場所打ちのRC部分を設け一体化を図る。その縦方向鉛直材はがりょうと連続させる。〔3.43〕。

上記の内、がりょうに関する規定は定量的にも明確なものであるが、がりょうと同様に重要な補強となる縦方向の補強については、x項のとおりであり、必ずしも明確ではない。

写真4.6.7は、この縦方向の補強の程度を示すものである。

### 3) 9階建てのプレキャスト鉄筋コンクリートラーメン（RPC）構造

この構法の概要は図4.6.4及び写真4.6.8に示す通りであり、また、図4.6.5及び図4.6.6は本構法による典型的な建物の平面図と立面図である。即ち、基本的には工場生産された柱部材、はり部材、床パネル及び壁パネルを、主として現場溶接により接合し

構成していく構法である。写真4.6.8は2方向共はりを有するラーメン構造となっている例であるが、これに対し、写真4.6.9は一方向にのみはりがある例である。後者では、はりのない方向に壁パネルを設ける例(レニナカンの場合、後出)と設けない例(スピタクの例、写真4.6.9)とがある。またラーメンの外側にプレキャスト外壁が用いられることが多い(写真4.6.9参照)。

この構法における主要接合部の内、柱筋同志はつき合わせ溶接特殊添金物を用いている例がある(写真4.6.10)。はり筋は添え筋又は添え板を用いた溶接(写真4.6.11)となっている。

このRPC構法に関しては、前記の耐震法規の中には関連する床の構造についての既定以外には特段の規定はない。

なお、本構法が用いられている建物は、9階建ての集合住宅が圧倒的に多い。

#### 4) 9階建てのプレキャスト鉄筋コンクリート壁式(WPC)構造

この構法の概要は図4.7.5及び写真4.6.15に示す通り、大型プレキャスト板である床板及び壁板により構成されるもので、柱やはりに相当する部材がないのが特徴である。板と板との接合部は、壁板同志の縦方向及び水平方向の接合部をそれぞれ鉛直接合部及び水平接合部といい、床板同志の接合部を床-床接合部という。床と壁との接合部は一般に前記の水平接合部に含まれることになる。これらの各接合部の構造方法としては、板内にアンカーされた鋼材同志を溶接するドライジョイントと板と板との間に充填するコンクリートに強度を期待するウェットジョイントとがある。アルメニアのWPC工法では、鉛直ジョイントがウェットジョイント(写真4.6.16及び4.6.17参照)、水平ジョイント(写真4.6.18参照)と床-床ジョイントがドライジョイントとなっている。また、鉛直ジョイントは、直線状の壁配置では横筋同志が溶接され(写真4.6.16)、直交している壁のジョイントではループ筋が交叉する配置となっている(写真4.6.17)。これらの方法は殆んど我が国におけるWPC工法の詳細と共通している。但し、板端面の突起(シアキイとよぶ)の形状が異なっている点、及び水平ジョイントの接合筋が日本ではもっと断面が大きい点などに相違が見られる。

この種のWPC構法について耐震法規(前記の1969年版)には、主として次のような規定がある。〔 〕内の規定の条文番号を示す。

- i. 大型パネル造建物は壁板と床板とが一体となり、1つの三次元構造として挙動するように次の諸点に留意して鉛直力と地震力に対して構造設計を行う。
  - ・壁板や床板はできるだけ大型とする。可能ならルームサイズが良い。
  - ・壁板や床板は低収縮性のコンクリートを充填した拡大補強ジョイント(widened reinforced joint)又はこれに類するもので結合する。

- ・水平力は外壁でとる。壁の剛性はつり合い良く配置する。
- ・壁面間隔は6.5 m以下とする〔3.25〕。
- ii. 壁板はダブル配筋とする。床板の端面にはコンクリート充填用のキイ(コツ)を設ける〔3.26〕
- iii. 壁板や床板同志はアンカー筋などの溶接により結合し、その部分には防錆をした上、コンクリートを充填することが望ましい〔3.27〕。
- vi. ジョイント筋の断面積は計算によるが、接合部の直線部分の長さ1 m当り、1 cm<sup>2</sup>以上とする〔3.28〕。

なお、本構法による建物としては9階建ての(1棟のみ5階建て)の集合住宅がレニナカンで7棟確認されたが、その数はRPC構法によるものに較べてはるかに少ない。

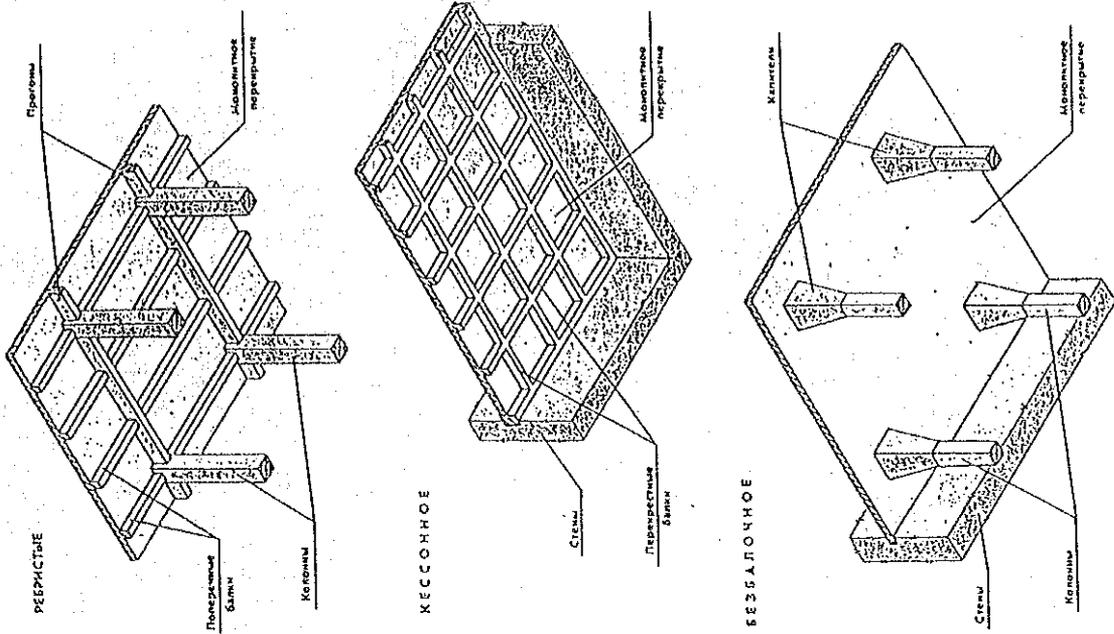
#### 5) その他の構法

その他、現地で確認された構法としては次のようなものがある。

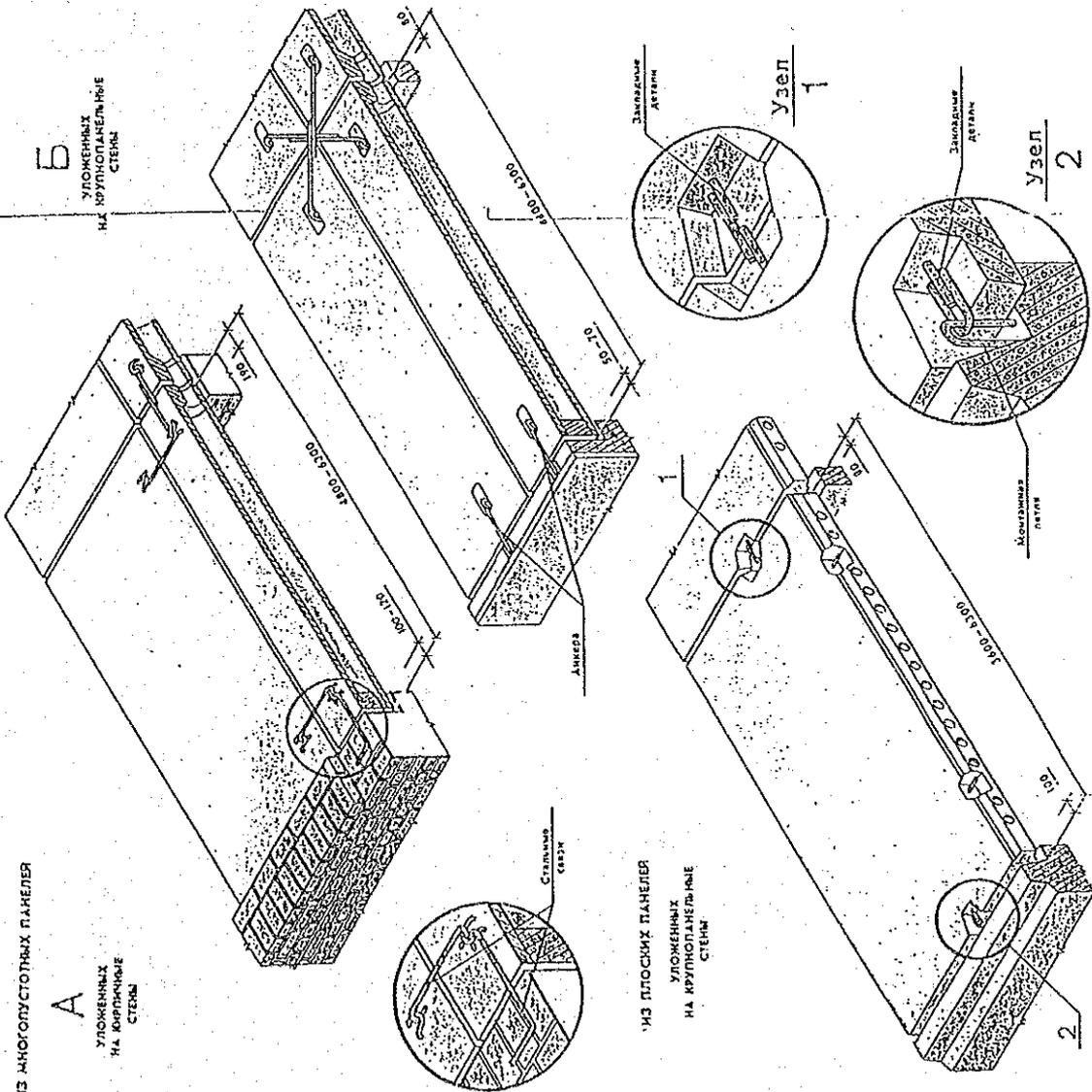
- i. 平家を中心とした無補強の石造建物
- ii. 平家から3階建てのRPC工法(一部ブレース付)による工場建物(図4.6.8及び写真4.6.5参照)
- iii. 場所打RC造とRPC造との混用による高層住宅(写真4.6.19参照)また、被災地ではなく、エレバン周辺には次のような構法による建物が建てられている。但し、v.は当地建築研究所の説明による。
- iv. 鉄骨造による平家建物工場建物(図4.6.9参照)
- v. 小型口型PCaフレームによる組立て中高層住宅(図4.6.10参照)

# МЕЖДУЭТАЖНЫЕ ПЕРЕКРЫТИЯ

МОНОЛИТНЫЕ



СБОРНЫЕ



4.6.1 床構法

1984年12月27日 建設省告示第213号  
 建築基準法施行令第12号  
 建築基準法第11条第1項第2号

1984年12月27日 建設省告示第213号  
 建築基準法施行令第12号  
 建築基準法第11条第1項第2号



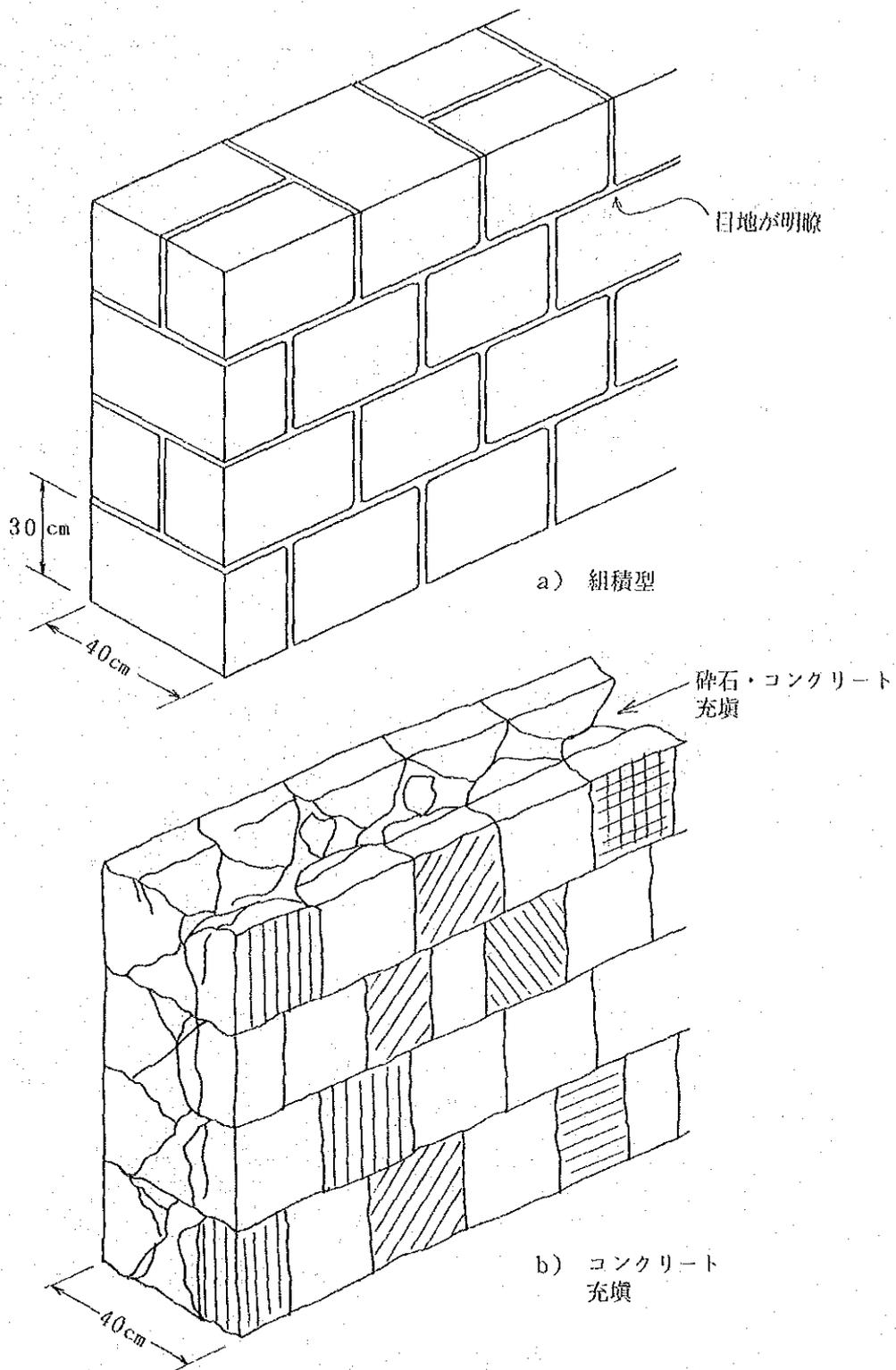


図 4.6.3 石造の 2 種類の壁



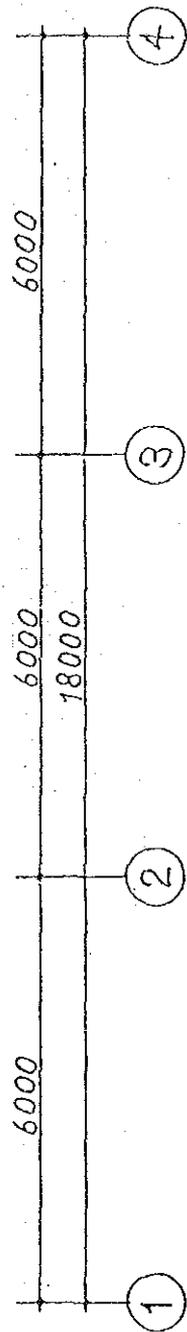
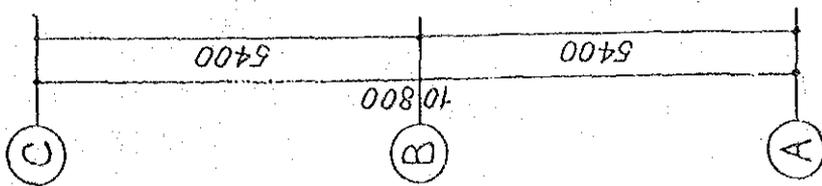
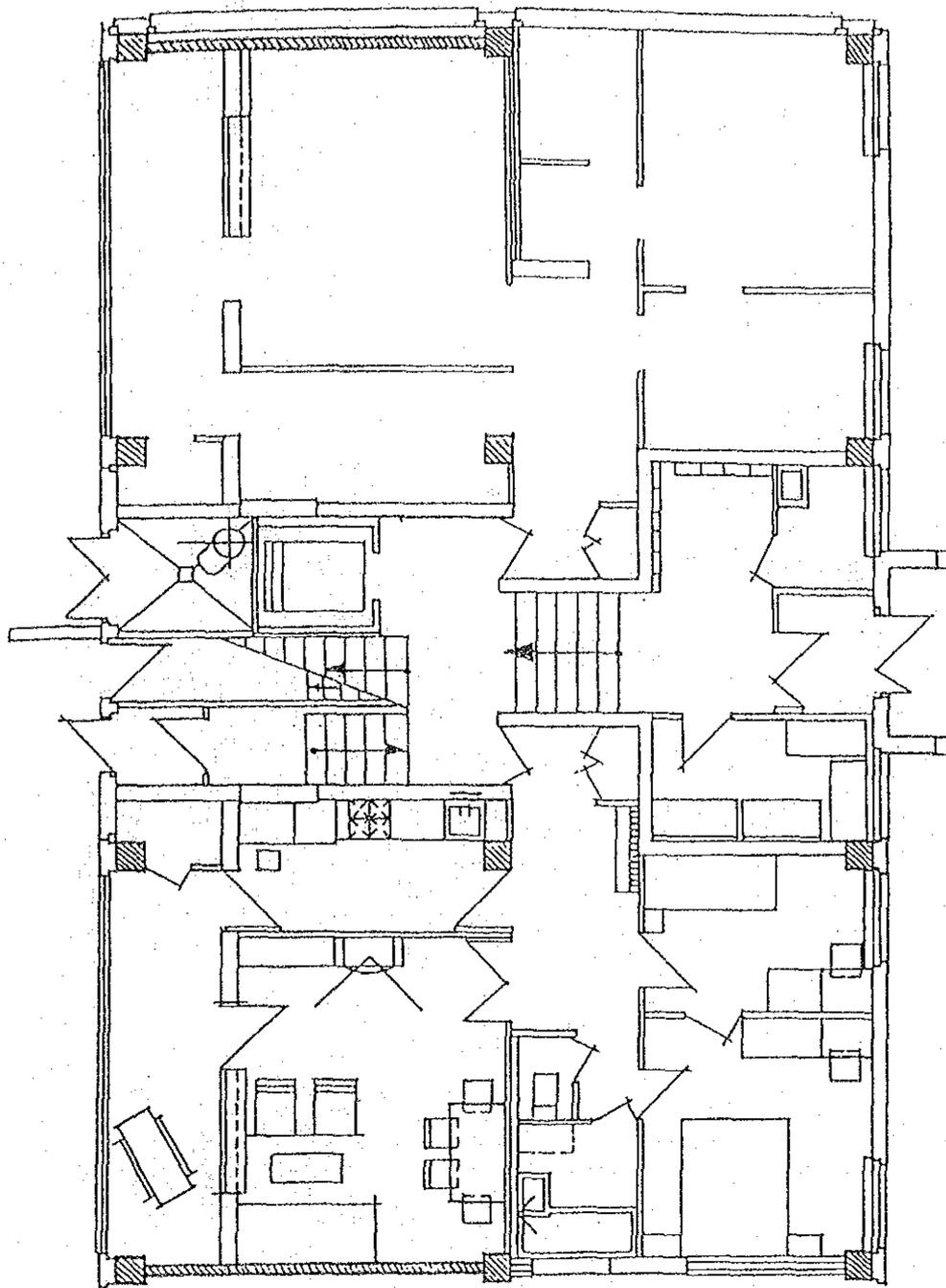


図 4.6.5 R P C 構法による集合住宅の平面図の例

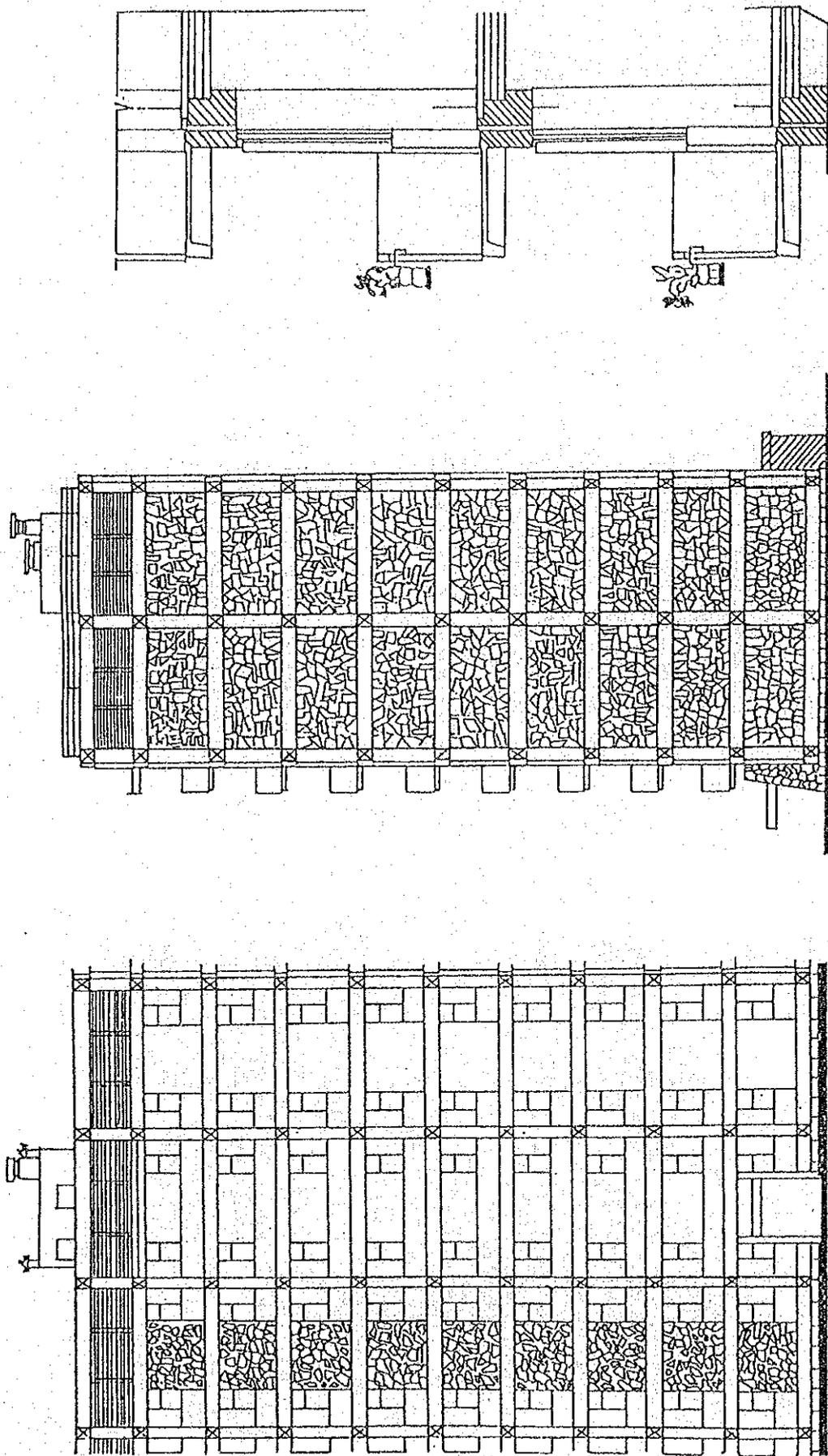


图 4.6.6 R P C 構法による集合住宅の立面及び断面図(例)



# ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КАРКАСЫ ОДНОЭТАЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

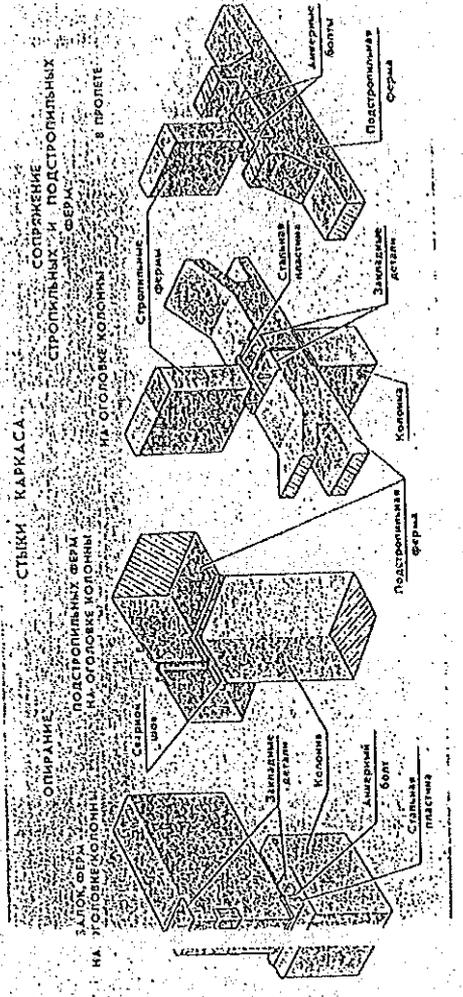
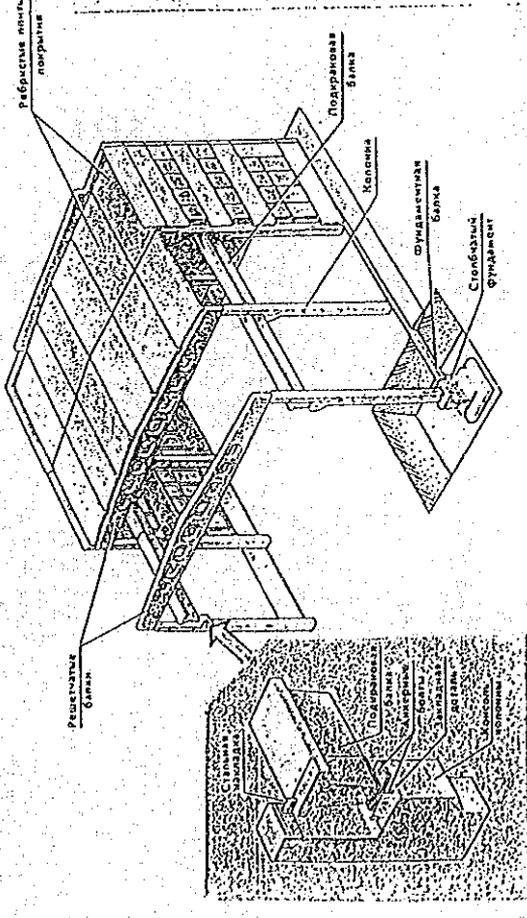
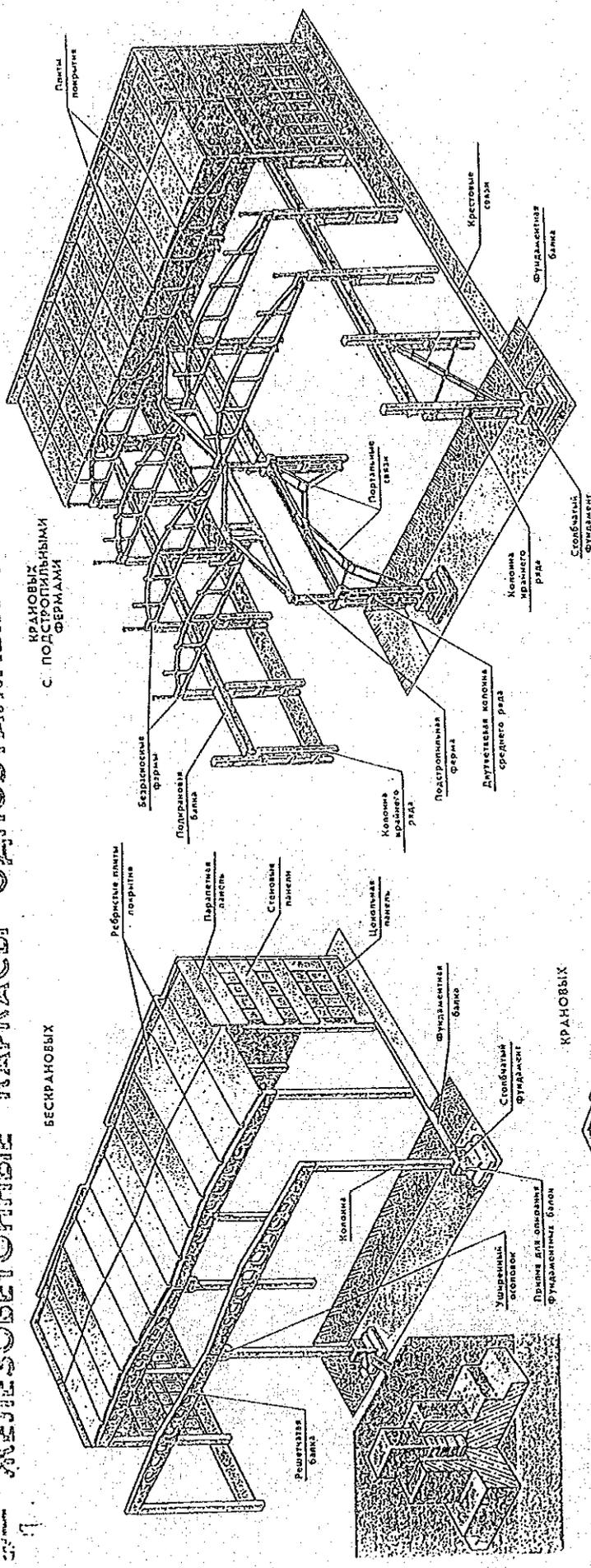
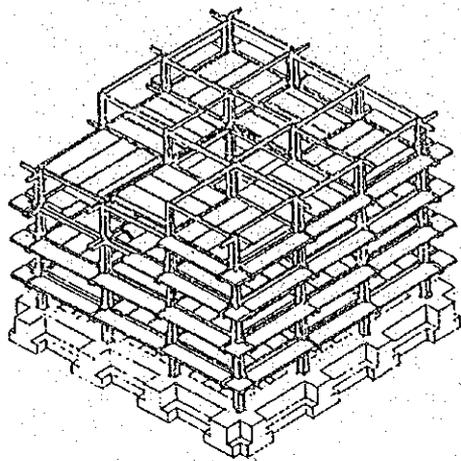
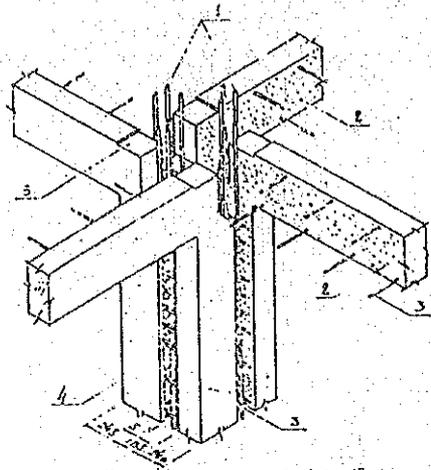


Рис. 4.6.8. Конструкция железобетонных каркасов одноэтажных промышленных зданий с кранами и без кранов.

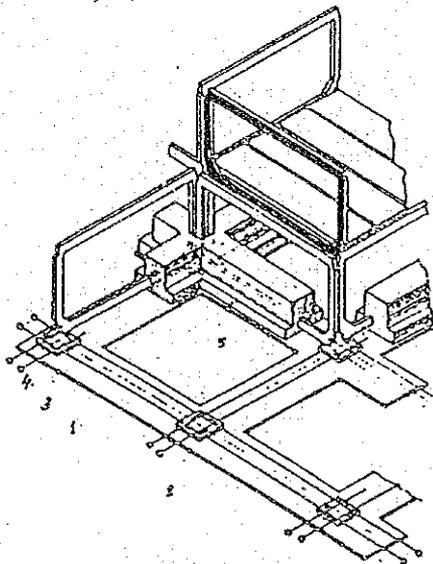




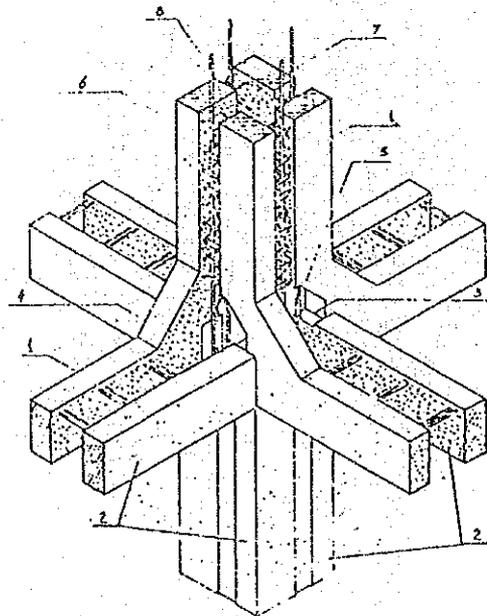
a) 全体構成



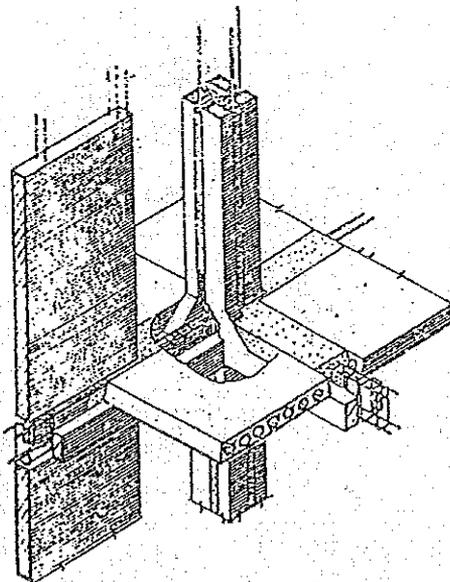
d) 柱頭部分



b) 1階部分



e) 柱脚とはり



c) 柱・はり・床・壁の構成

図 4.6.10 小型PC枠組部材を用いたプレキャスト鉄筋コンクリートラーメン構造

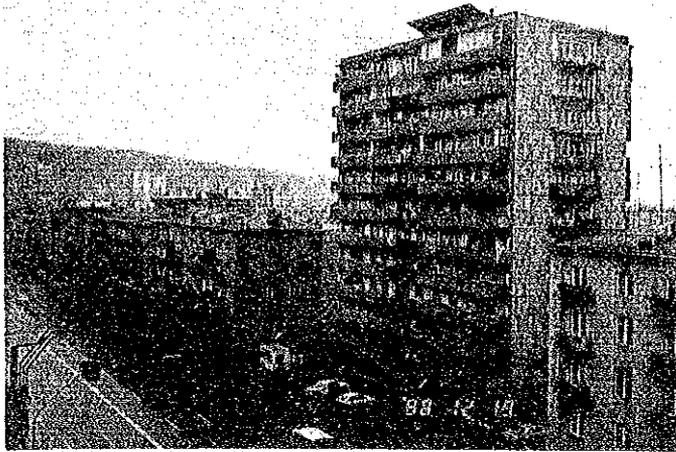


写真4.6.1  
首都エレバンのメインストリート沿いに建つプレキャスト鉄筋コンクリートラーメン(RPC)構造による11階建アパートと補強石造(RMS)による5階建アパート。(大多数のアルメニアの建物の外面にはタフ(Tuff)とよばれる紫色系の凝灰石が一面に構造材としてあるいは外装材に用いられている)

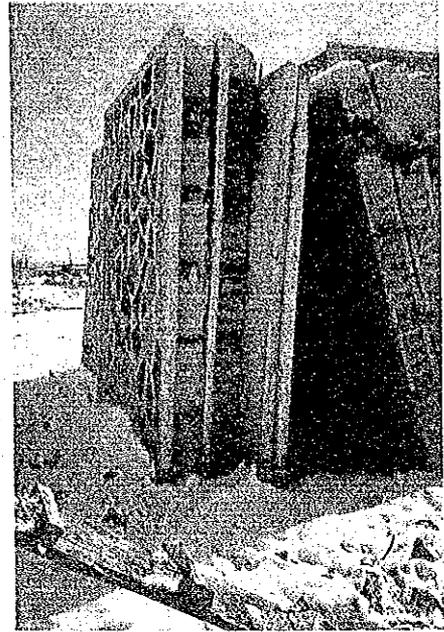


写真4.6.2  
大型プレキャスト板の外装材として埋め込まれたTuff.  
(レニナカン市の建設中の現場にて)



写真4.6.3  
コンクリートの骨材として用いられたTuff.  
コンクリート全体がかなり紫色を帯びている  
(破壊した5階建RMS造アパートの補強コンクリート部分。スピタク市)

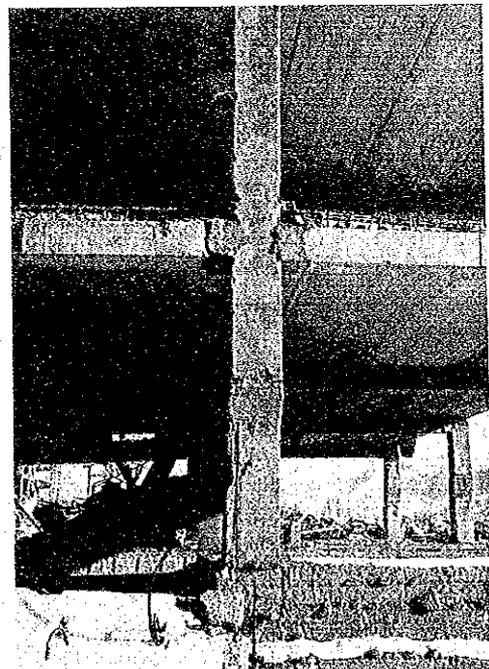


写真4.6.4  
建設中に大破したRPC造建物の床スラブとして用いられているプレキャストボイドスラブ。はりの上に両端支持され、その部分にコンクリートが現場で打設される。スパンは約5m程度のものが一般である(スピタク市)。

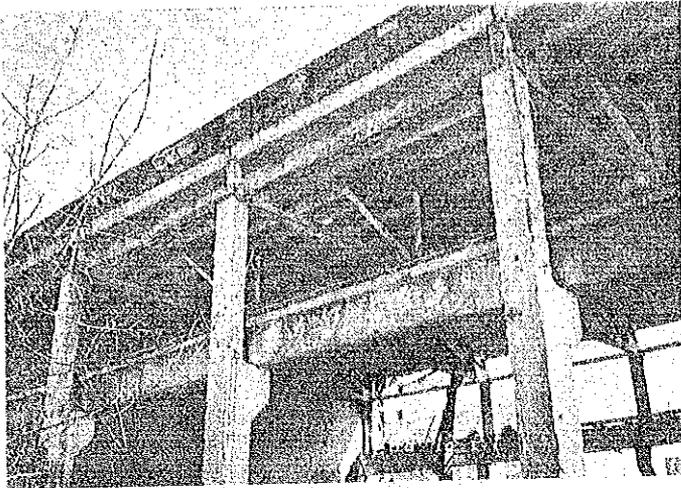


写真4.6.5  
プレキャスト鉄筋コンクリート造による研究実験棟の屋根として用いられている、リブ付プレキャストパネル。この建物では一部にブレースが用いられているが石積みの外壁は殆んど崩壊した(レニナカン市)。

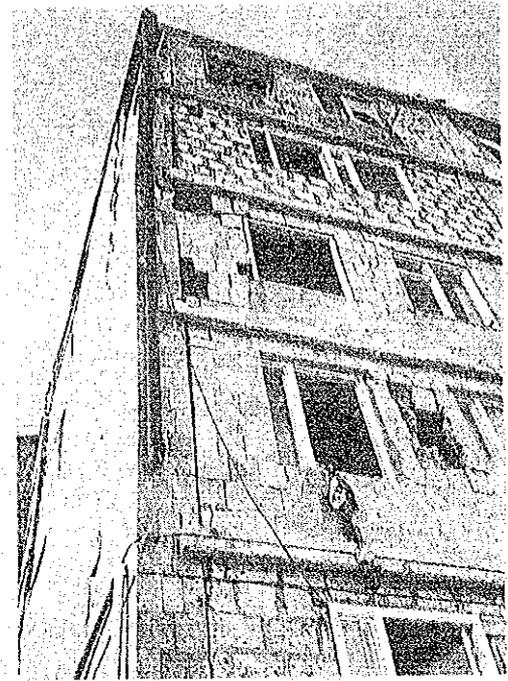


写真4.6.6  
RMS造による5階建アパートの妻面。明らかに異なった2種類の積み方が一層おきに用いられている(スピタク市)。

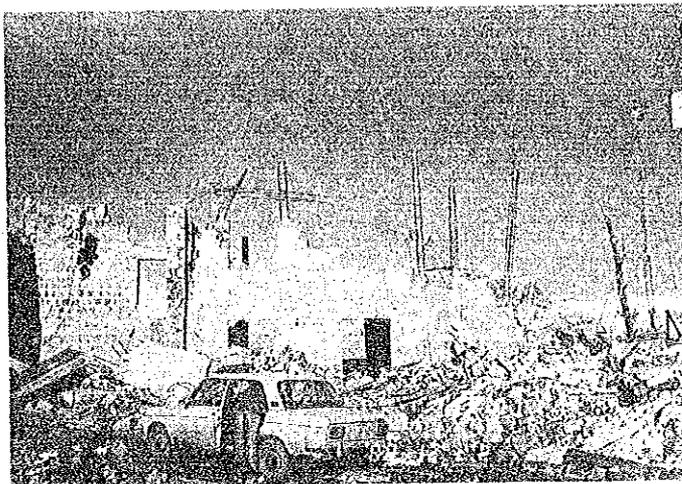
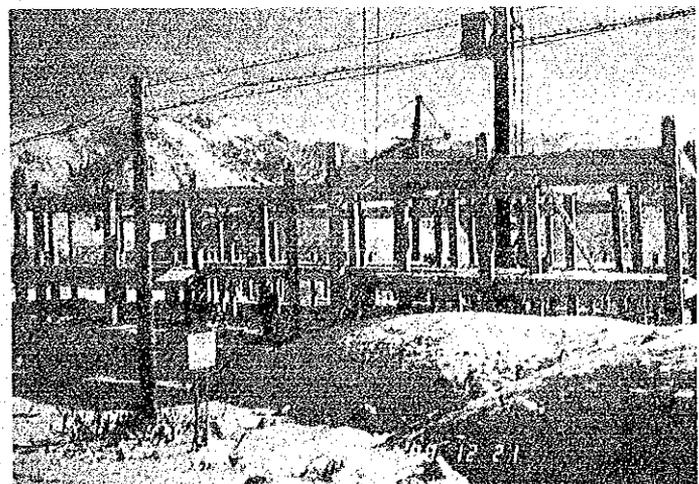


写真4.6.7  
建設中のRMS造アパート。石積み壁の間に補強用の鉄筋コンクリート部分に用いる鉄筋かごが見られる。5階建程度のRMS造建物での補強の程度がうかがわれる(スピタク市)。

写真4.6.8  
建設中に被災したプレキャスト鉄筋コンクリートラーメン(RPC)造の建物の軸組。この例では、はりが2方向に架けられているが、1方向のみにはりが架かっている建物の方が数が多い(スピタク市郊外)。



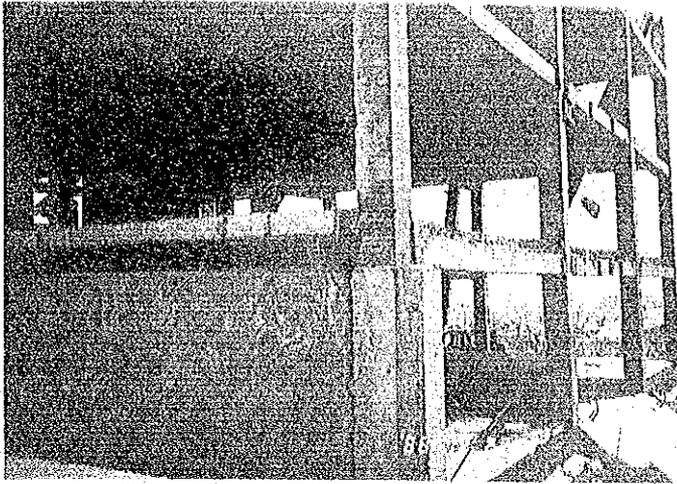


写真4.6.9  
前の写真と同じく建設中のRPC造の建物の軸組。この例では前の例と異なり、はりは一方向のみに架けられている。はりの無い方向ではプレキャスト板や石積み等の壁が設けられている（スピタク市）。

写真4.6.10  
建設中に被災したRPC造建物の建設現場に搬入されていたプレキャスト柱部材。一本が2階分に相当し、両端には柱-柱ジョイントのために露出した主筋と、中間に2ヶ所、柱-梁ジョイント用に定着された鉄筋とアングル各2本が見られる（レニナカン市郊外）。

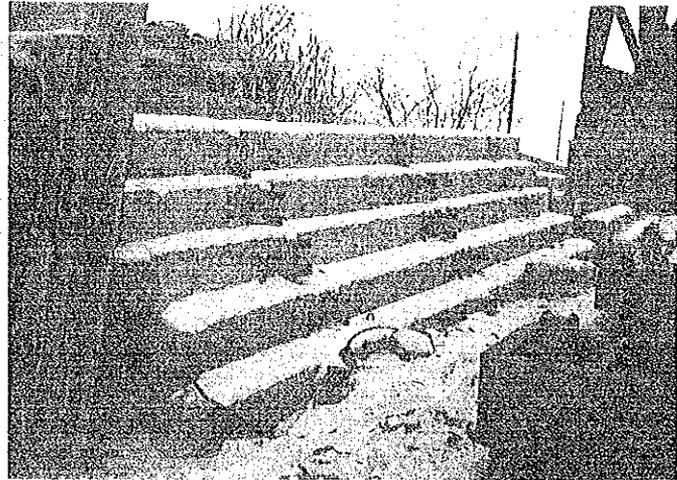
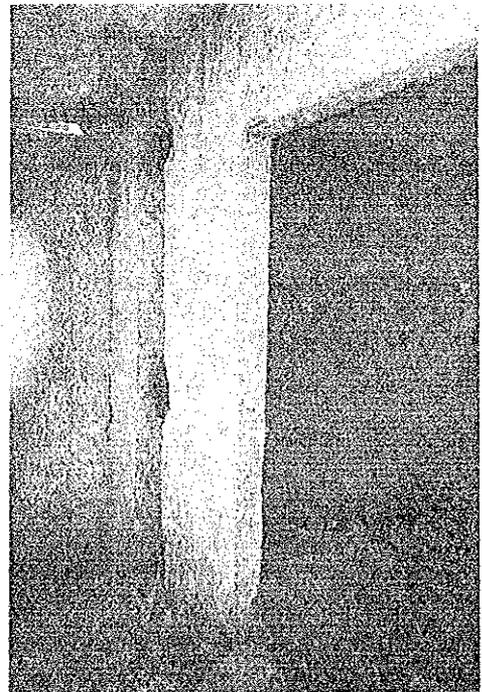


写真4.6.11  
前の写真と同じく、RPC造建物の建設現場に搬入・野積みされたプレキャスト梁部材。1スパン分の部材であり、床パネルとの接合部分でコンクリートを現場で打設する部分にあたる個所に梁の肋筋の上部が露出している。はり部材の組立て後に、肋筋の両隅角部に2本の主筋を配置し、これらの主筋を溶接した後、コンクリートを打設する（レニナカン市郊外）。

写真4.6.12 前の写真と同じく、建設中のRPC造建物の柱と構造用と思われるプレキャスト開口壁との接合部。相互に埋め込まれた鉄板同士が溶接されている（レニナカン市郊外）。



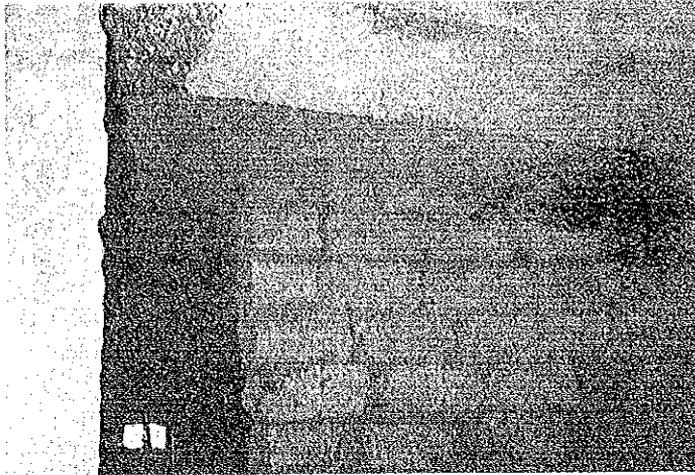


写真4.6.13  
建設中のRPC造建物で見られた石積みの間仕切壁。厚さは約20cmで、補強は全くされていない(レニナカン市)。

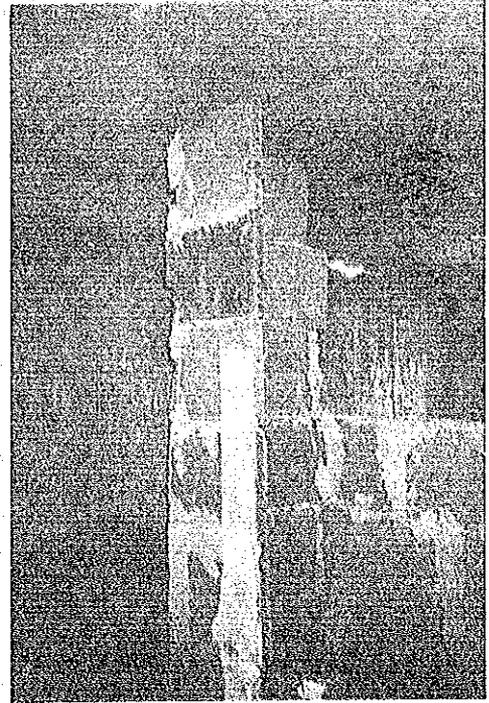


写真4.6.14  
前の写真と同じく建設中のRPC造建物で見られた厚さ約7cmの小型プレキャストパネルの間仕切壁。同様に補強は全くない。

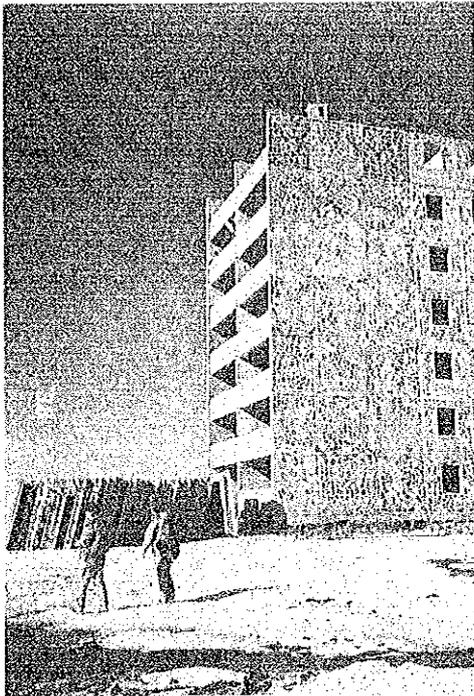


写真4.6.15  
鉄筋コンクリート大型プレキャスト板構法(WPC造)による9階建アパートの建設現場。7階迄建て上った状態で被災したが、被害は8階PC床板の落下、破損程度にとどまった。建物の脇にはTufの外装仕上げ材としてプレキャストされた外壁板が見られる(レニナカン市郊外)。

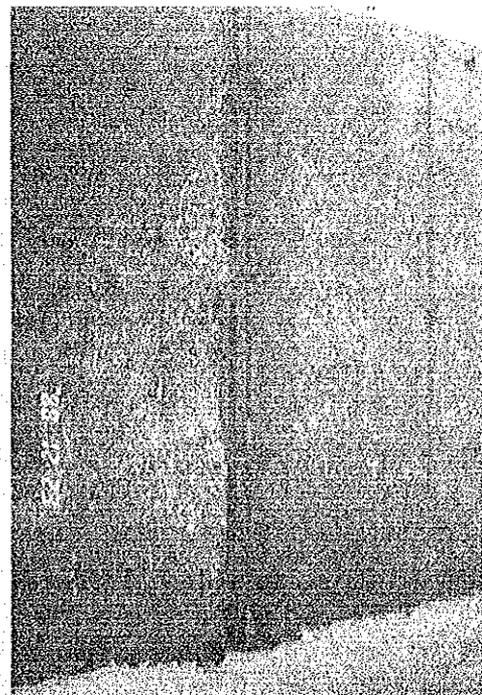


写真4.6.16  
同じくWPC造建物の壁パネルと壁パネルの間の鉛直接合部(ジョイント)。壁の補強筋である露出した横筋同志が溶接されている。これらの詳細はコンクリートパネル端部の形状を除いて、我が国の同種建物の詳細と共通する所が多い。

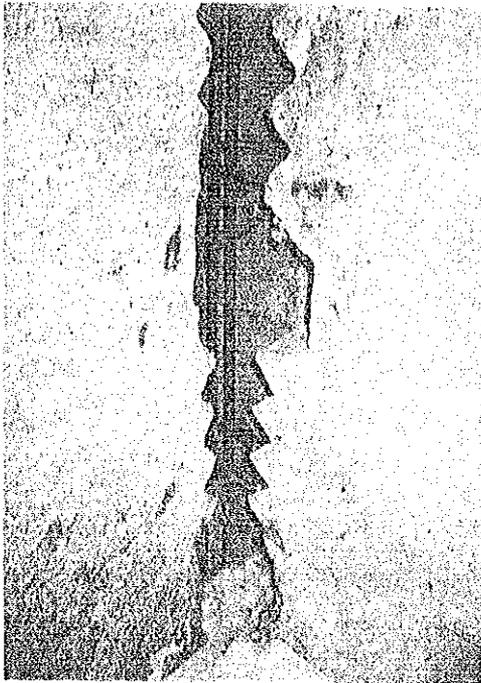


写真 4.6.17

WPC造でT字状に配置された壁パネルの鉛直接合部。直線状に接続する壁同志の横筋が溶接されるのに対し、それに直交する壁の横筋の露出部分はループ状になっており、そのループの中に、現場で縦筋が配置された後に、鉛直接合部にコンクリートが充填される。我が国の同種建物にも同様の詳細が多い。

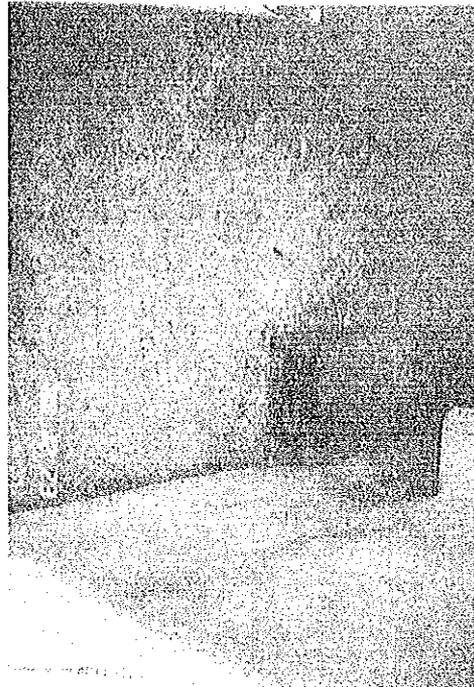


写真 4.6.18

WPC造建物の上下の壁パネルの間に設けられる水平接合部の詳細。上のパネルの脚部に埋設された鉄板に対し、下のパネルに埋設された鉄筋を溶接して結合する。日本でも類似の詳細があるが、鉄筋の断面はもっと太い。

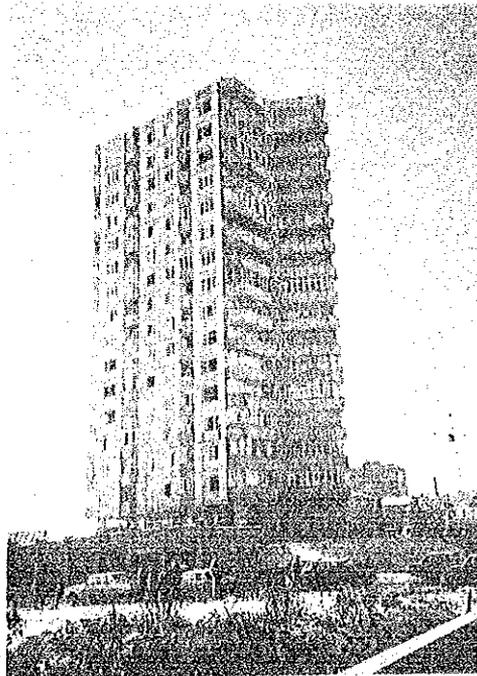


写真 4.6.19

レニナカン市で唯一の高層の16階建アパート。周辺の住や床スラブはプレキャスト部材であるが、建物中央部分にコア状に配置されている耐震壁は現場打鉄筋コンクリート造である。主としてコアの耐震壁が大破、大半の縦筋が座屈し、常時荷重に対しても、安全とは言いきれない状態まで破壊し、その後全て解体された。

## 5. アルメニア・スピタク地震の概要

### 5.1 地震現象

#### (1) 震源要素および発震機構

ソ連邦における地震観測はソ連科学アカデミーと各共和国の科学アカデミーが協力して行っている。アルメニア共和国内には14の地震観測所がある。これらの記録を緊急に解析した結果は次の通りである。

発震時 : 1988年12月7日 11時41分  
震央 : 40° 50' N, 44° 15' E  
深さ : 10km  
マグニチュード : 7.0

震源要素は付近の観測所の資料を用いた方がより正確に決定できるので、現時点でこれが最も信頼度が高い。震央は壊滅的な被害を受けたスピタクのほぼ南方約6kmのところである。震源の深さが浅かったことは気象庁松代地震観測所の記録を見るとP波、S波の実体波に比べて表面波の振幅が極めて大きかったことから推定できる。

発震機構はソ連邦によればこの震源を地殻破壊の起点としてほぼ西方に約60kmの地震断層が発生し断層の北側が南側に対してほぼ垂直（角度約80度）にずり上り、西方にも若干ずれた逆断層型と解析されている。ずれの量はまだ解析されていない。

これらの解析結果は震央より17km東方のキロバカンよりも西方に35kmも離れているレニナカンの方が被害が遥かに大きかったこと；震度は断層線を境にして動いた側の方が大きいのであるが、スピタク、レニナカン共に動いた側にあったこと；断層線の南側は北側に比べて震度の減衰が大きかったこと；等の事実とよく一致する。

#### (2) 前震

12月6日16時頃スピタク北方のステパナバンの観測所1ヶ所で地震が記録され、さらに同日19時30分により大きな地震が数ヶ所の観測所で記録された。後者の震源は本震と殆んど同じである。もとよりこの時点で後にマグニチュード7クラスの地震をひかえた前震であると判断することは現在の地震学のレベルでは不可能である。

#### (3) 余震

観測所密度も高く、解析例も一番多い日本の例によれば、マグニチュード7クラスの地震には数多くの余震が伴う。その発生回数は時間と共にほぼ単調に減衰する。最大余震のマグニチュードは本震のものより一階級下廻り、断層について本震の反対側で起りやすい。しかも本震より時間的に2～3日以内に起る。等の例が多い。

今回のアルメニア地震について本震の4分後にマグニチュード5.8の地震が起っている

が震源は本震と殆んど同じところである。その後の余震はすべてマグニチュード5以下である。余震域の大きさは長軸60kmのほぼ円に近い楕円で、これはマグニチュード7の余震域としては正常である。

しかし余震の数の減衰状況にやや波のあること、地震断層に関して本震と反対側付近での余震活動の低いことは注目すべきで、今後の余震活動調査を十分に行うべきである。

日本の例では1943年3月に島根県でマグニチュード6クラスの地震が発生し、それより6ヶ月後の9月に殆んど同じ震源をもつマグニチュード7.4の地震が発生した。この二つの地震を比較すると3月の地震は9月の地震の前震と考えられるが、これにも余震が多く伴ったがその減衰は滑らかではなかった。このような前例があるのでアルメニア地震の余震調査の重要性を強調したい。

#### (4) 前兆現象

今回の地震について後から考えてと前兆と思われるいくつかの現象が確認されている。

##### 1) 地殻変動

本震前5年間に、震央付近の道路で、ゆっくりしたずれが見られた。

##### 2) 地下水

本震前2日前より地下水がへり、また濁った。

##### 3) 傾斜伸縮

傾斜計と伸縮計にやはり2~3日前に $1.3 \times 10^{-6}$ 程度の異常が現れた。観測点はレニナカン付近で、伸縮については「縮み」の変化であった。わが国の東海地方特別観測では $5 \times 10^{-7}$ 以上を異常としている。

##### 4) 広観現象

地震前夜は異常に暖かく、また当日朝から深い霧がたち込め、地震直前に晴れ上がったそうである。

以上はすべてエレバン地震研究所でソ連科学アカデミーのネルセソフ氏および同所の職員から聞いたことであり、測器による異常記録は実際の記録を見ることができた。

しかし極めて短時間の会議で、周囲は未だに騒然としており、更に量的な事実関係を明かにする必要がある。ただし測器による観測も含めて何種類かの前兆現象が出現したことは確実である。

## 5.2 地震動および震度階

### (1) 地震動

今回の地震による建造物の被害を解釈する上でネックとなるのは、被災地域で強震記録が全く取れていないことである。(なお、その後、レニナカン北方のグーカシアンで記録

がとれたことが判明している)我々が入手した唯一の記録は、エレバンの建築研究所で観測された強震計記録3成分のうちの水平1成分(図5.2.1)で、その方位も分かっていない。エレバンは震央から南に約70km離れたところにあり、構造物の被害も皆無に近いことから、この記録から震源域に於ける地震動を推定することは困難であるが、今回の地震の特徴を大ざっぱに読み取ることができる。まず、最大加速度の値は62galであるが、表面波マグニチュード( $M_s$ )をローカルマグニチュード( $M_L$ )に読み変えて、様々な距離減衰式に当てはめると、これまでの経験則をほぼ満足することがわかる(図5.2.2)。次に、周波数成分についてみると、極めて短周期の波が長時間に渡って続いていることが分かる。最初の10秒足らずでは10Hz前後の波が卓越しており、次の10秒足らずでは5Hz前後、その後は若干長めの波が続いている。遠方で観測された地震記録のP波部分の波形から、今回の地震は約9秒間隔で3個のイベントが続いて起こったものであると指摘する地震学者もいるが、この記録からその様子を読み取れ無くもない。何れにしても、最大振幅の2/3以上の震動が25秒前後も続いており、短周期成分が卓越している割には、継続期間が非常に長いことが分かる。図5.2.3はこの記録の加速度応答スペクトルを計算したものである(建設省土木研究所による)。0.1-0.2秒の短周期成分が極端に卓越しているものの、特に目だったピークは認められない。エレバンの建築研究所が厚い凝灰石の上に位置していることと併せて、この記録には表層地盤の増幅作用の影響は殆ど含まれていないものと思われる。また、この地方一帯が凝灰岩と玄武岩からなる比較的硬い地盤からなっており、地震波の伝搬に伴う変調を受けにくいと考えられることから、このスペクトル特性は、ほぼ地震の発震特性をそのまま表わしているものと思われる。

エレバン以外では、エレバンの西方40kmに位置するオクテンベリアンの原子力発電所で観測された強震記録があるとのことであるが、この記録は見えていない。最大値も18galという説と80galという説がある。建築物の被害の大きかったレニナカンにも強震計は設置されていたが、建物が倒壊したために回収不能になったという説と、建物の上下に設置された強震計が生きており、目下回収中であるという説(モスクワの地球物理研究所スタインベルグ教授)がある。もし回収できれば、建物の崩壊過程を知る上で大変貴重な資料となることは間違いない。

強震計の他に、レニナカンの地質・地震工学研究所とエレバンの建築研究所ではサイスマスコープの記録を取るのに成功している。これは、周期0.1-1.0秒の範囲で固有周期の異なる7種類の振子が描く軌跡をトレースしたものである。振子の減衰定数は5-8%(対数減衰率で0.3-0.5)だそうである。建築研究所のカチアン博士によると、周期が0.25秒の振子の振幅から換算した最大加速度は、強震計記録の最大振幅(約60gal)とよく合うとのことであったが、換算の方法についてはよく分からない。地質・地震工学研究

所でこれと同じ方法で、振子の周期ごとに最大加速度を計算し、グラフにしていたので、目視によりこれを手帳に写してきたものを図 5.2.4 に再掲する。グラフが 2 本あるのは直交 2 方向の最大加速度値を別々に描いたものである。0.2-0.3 秒にピークがあり、長周期成分が少ないのはエレバンの強震計記録と同様である。但し、縦軸が地動の最大加速度を表すのか、振子の最大応答値を表すのかは不明である。一般に、この種の装置で地動の最大振幅を計測することは難しいと考えられるので、これを減衰定数 5-8% の加速度応答スペクトルと見なすと、地動の最大加速度はこれを 2.5 で割って 400-520gal となる（ニューマークの標準スペクトルによると加速度応答が一定となる周期範囲で、応答倍率は減衰定数 5% に対して約 3 倍、減衰定数 10% に対して約 2 倍となっている）。一方、レニナカンにおける地動の最大振幅は 17-18cm であったという情報がある。これがサイモスコープによる計測値だとすると、当然周期の長い振子によるものと考えられる。周期の最も長い（1.0 秒）振子の共振状態を考えると、地動の最大加速度は約 70-110gal となる。

キロバカンで地震を体験したミシンメーカーの日本人駐在員の話によれば、地震の直前に“ゴー”という地鳴りを聞いたそうで、震央近くで経験する内陸地震の特徴をよく表わしている。一方、レニナカンでは、専門家（地質学者）を含む複数の人の証言があり、短周期の地震動が 4 分間ほど続いた後、周期の長い揺れが来て人々は移動ができなくなり、このときに大部分の建物が崩壊したという。

手持ちの資料だけから、被災地域の地震動を推定するのは困難であるが、エレバンの強震計記録に対する加速度応答スペクトル（図 5.2.3）およびレニナカンのサイモスコープの記録に基づき加速度応答値（図 5.2.4）などから類推して、0.2 秒前後の短周期成分が卓越していたものと思われる。これは、被災地域が山間部に位置しているため、凝灰岩や玄武岩などの硬い地盤が露出している所が多く、軟弱な沖積層が厚く堆積しているところが殆ど無いことにも起因している。しかしながら、レニナカンでは耐震設計された多数の高層ビルが崩壊しており、過去の経験からみても、この様な短周期成分だけでこの様な事態が起こるとは考えにくい。従って、周期 1 秒前後の周波数成分もある程度（100-150gal 程度）は含んでいたものと思われる。

## (2) 震度階

我々が現地を訪れたのは、瓦礫に埋まった人々の救出活動がようやく終りかけた時期であり、詳しい被害調査はまだ行われていなかった。特に、人口の多いレニナカン、スピタク、キロバカンを除く山間の集落については、構造物の被害に関する情報が殆ど手に入っていない。この様な状況下で被災地域全体の震度分布を定めることは殆ど不可能である。また、山間の小さな集落では、その立地条件によって被害の大きさにかなりの差があるものと思われる。例えば、レニナカンからスピタクに向かって 15km ほど行ったところにナル

バンスとゲガサルという、数十戸から百数十戸の小さな集落が4 kmほど隔てて存在するが、ナルバンスでは1、2階建の古い石造住宅が全滅しているのに対し、遠目からはゲガサルには殆ど被害が生じていないように見えた。そこで、短時間ではあるが、我々が被害を直接視察した上記3都市の震度について先ず考察してみよう。現地の専門家によれば、スピタク、レニナカン、キロバカンにおける建物の崩壊率は各々100%、80%、20%とのことであった。外見上はスピタクにも崩壊を免れて残っている建物も幾つかみられ、レニナカンでは半数以上の建物が残っていた。また、キロバカンでは車の中から被災した建物を見つけるのが困難なほど被害は少なかった。しかしながら、建物に近づいて、あるいは中に入って詳しくみると、残っている建物でもかなりの被害を受けており、特に、スピタクやレニナカンでは崩壊寸前の、日本でいえば大破以上に当たる建物がほとんどであった。したがって、上記の崩壊率は多少オーバーな嫌いはあるにしても、ほぼ妥当な数字と考えられる。震度階を推定する上で、次に問題となるのは建築構造の耐震性能の評価であろう。耐震設計基準などから日本の建物との性能を比較することはある程度可能であるが、実際に建設された現地の建物がどの程度の地震力で壊れるかを推定するのは難しい。現地で行われている各地の震度は、スピタクで10以上(MSK震度階:IIという人もいる)、レニナカンで9-10、キロバカンで8-9である。設計に使われる地震荷重が日本のものに比べてかなり低いこと、特に被害の大きかったラーメン式プレハブ構造の接合部にあまり靱性が期待できそうにないこと等を考慮して、この値の下限值を採用すると、日本の震度階に直して、スピタクがVII弱(MSKで10)、レニナカンがVI(9)、キロバカンがV(8)となる。耐震規定によるゾーニングでは、レニナカンが震度8の地域に属し(エレバンも同じ)、スピタクとキロバカンは震度7の地域に入っている。しかし、レニナカンとキロバカンの建物を見る限り、建物の耐震性能に顕著な違いは認められなかった。むしろ、同じタイプの建物でも、キロバカンの建物の方がレニナカンのものより丈夫であるという印象を受けたものもある。以上の点を勘案し、被害の大きさを比べると、ここで推定した各地の震度がほぼ妥当なものであることが分かる。即ち、スピタクでは地震動が設計荷重を大幅に上回り、レニナカンではMSK震度階で1段階程度大きかった。キロバカンでは両者がほぼ同じか、地震動がやや上回った感じである。震央距離が35kmのレニナカンの震度が震央距離15kmのキロバカンより大きかったのは、断層の破壊が震源から西に向かって伝わったためと理解される。なお、被害の無かったエレバンの震度はIV(MSKで6-7)と推定される。これだけの資料から被災地域の震度分布を定めるのは極めて乱暴ではあるが、大ざっぱな震度分布を概念的に図5.2.5に示す。

既に述べたように、1926年にはレニナカンの南方12kmでMs 5.7の被害地震が発生しており、周辺の10個の集落が壊滅し、レニナカンを含む44個の集落で4,200棟余りの建物に

被害が生じている。レニナカンの平均的な震度は8（MSK）であった。当時のレニナカンは現在に比べて人口は格段に少なかったが、建築物の被害は詳細に調べられている。レニナカンの地質・地震工学研究所ではこれらの資料を基に地盤条件も加味して、レニナカンのマイクロゾーニングを行っており、その結果を目視により写し取ったものを図5.2.6に示す。ここで注目されるのは、今回の地震で最も大きな被害を出したラーメン式プレハブ構造の高層（9階建）アパート群が、当時は被害の少なかった凝灰石を含む良質の地盤上に立地していることである。また、この図には示されていないが、元の図面では震度8の地域が2種類に区別されており、地下水位が4～5mよりも浅い地域では被害がやや大きくなっている。震度9の河川敷にはバラックが密集しているが、遠目には何の被害も認められなかった。

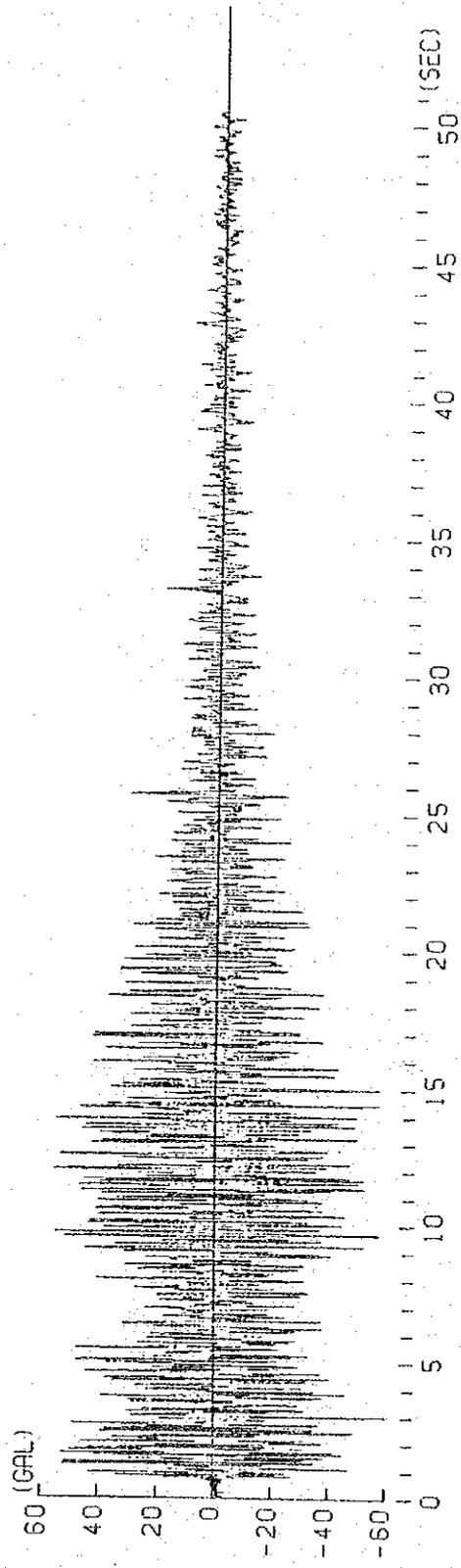


図 5.2.1 スピタク地震の(エレバン市における)強震記録  
 (最大加速度 61 gal : 建設省土木研究所の数値化による)

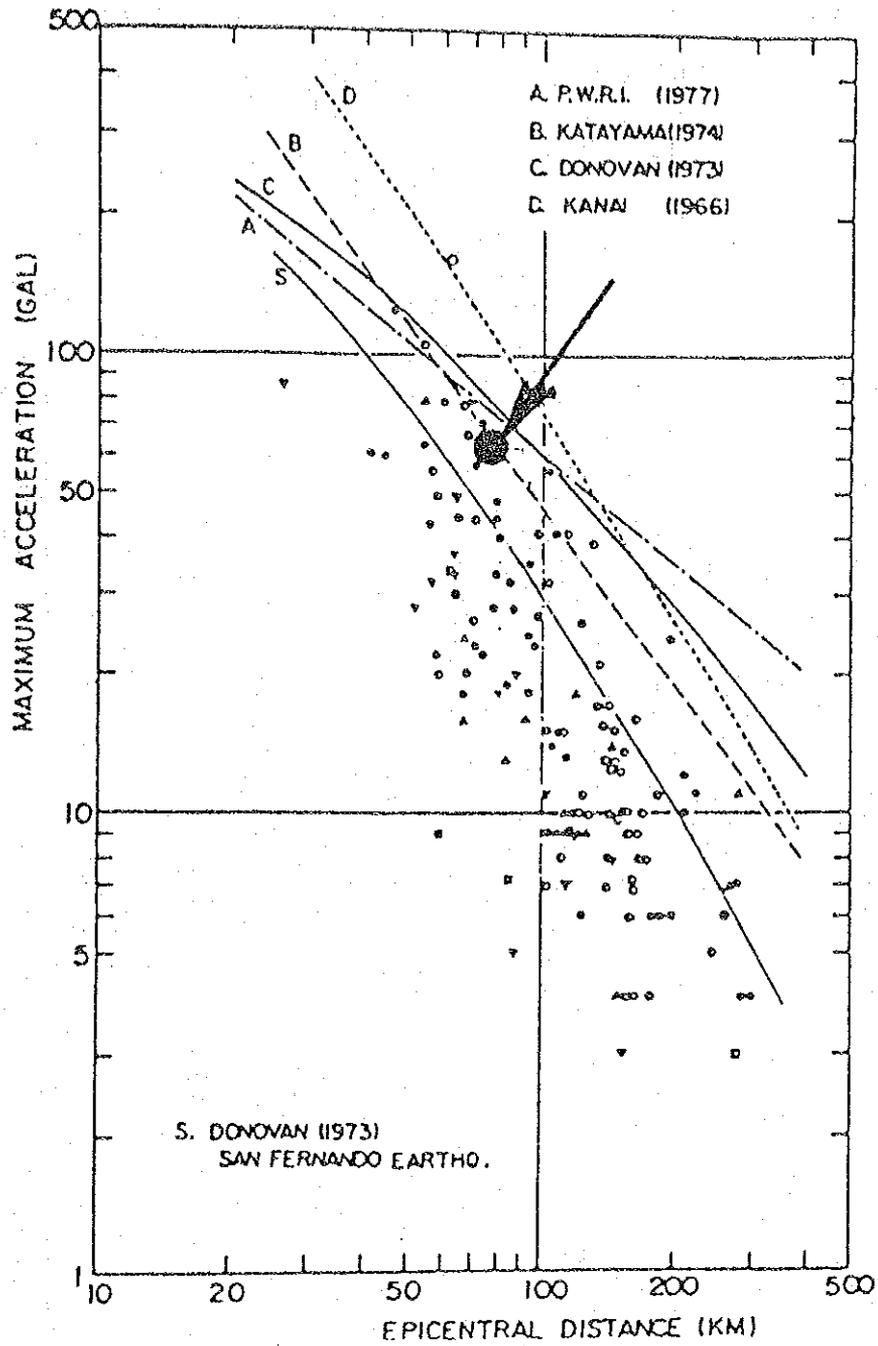


図 5. 2. 2 距離減衰についての観測値と実験式 (  $M = 7.0$  ) の比較  
 ( ●印はスピタク地震のエレバンでの記録 )

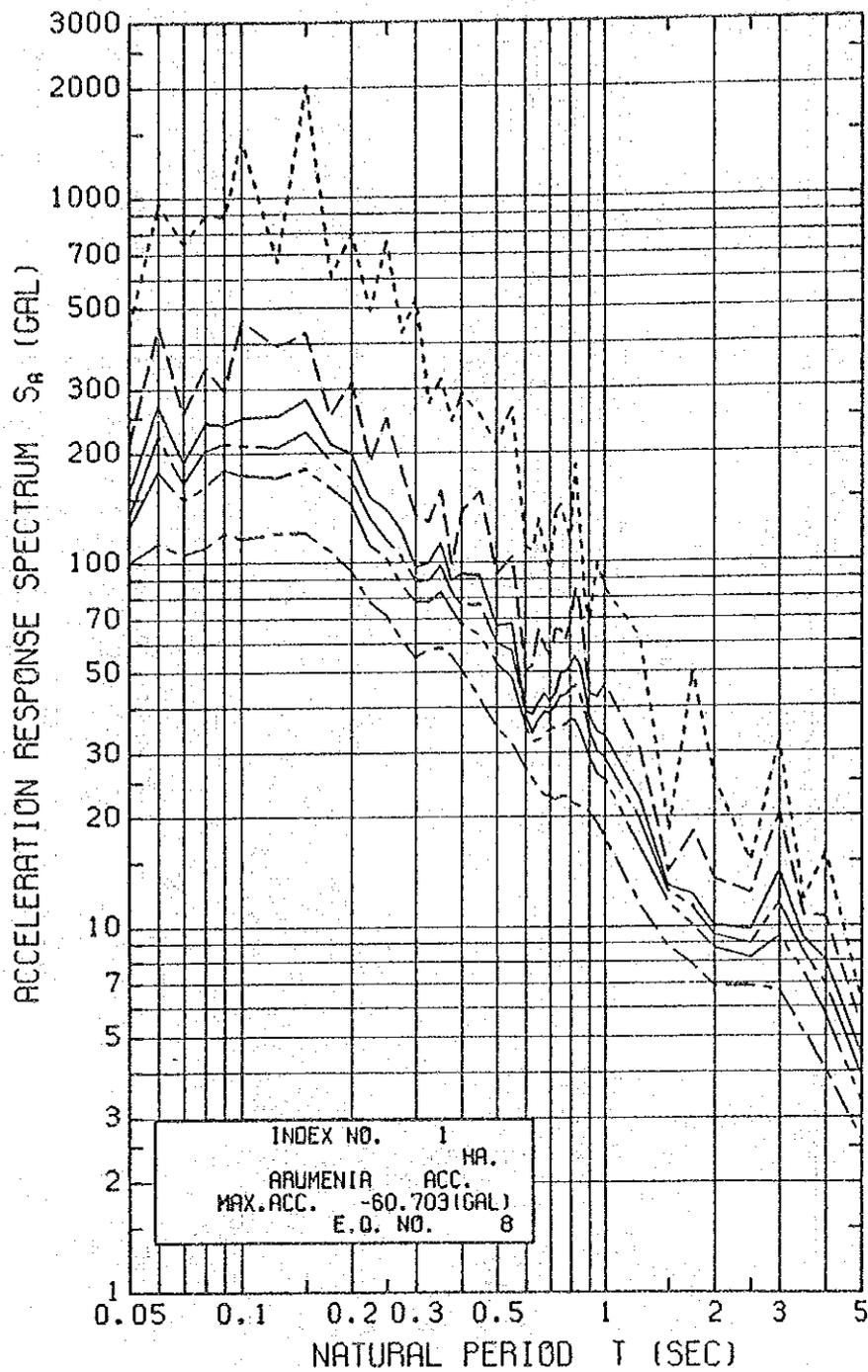


図 5. 2. 3 エレバン市において得られた強震記録の加速度応答スペクトル  
(建設省土木研究所の数値化による)

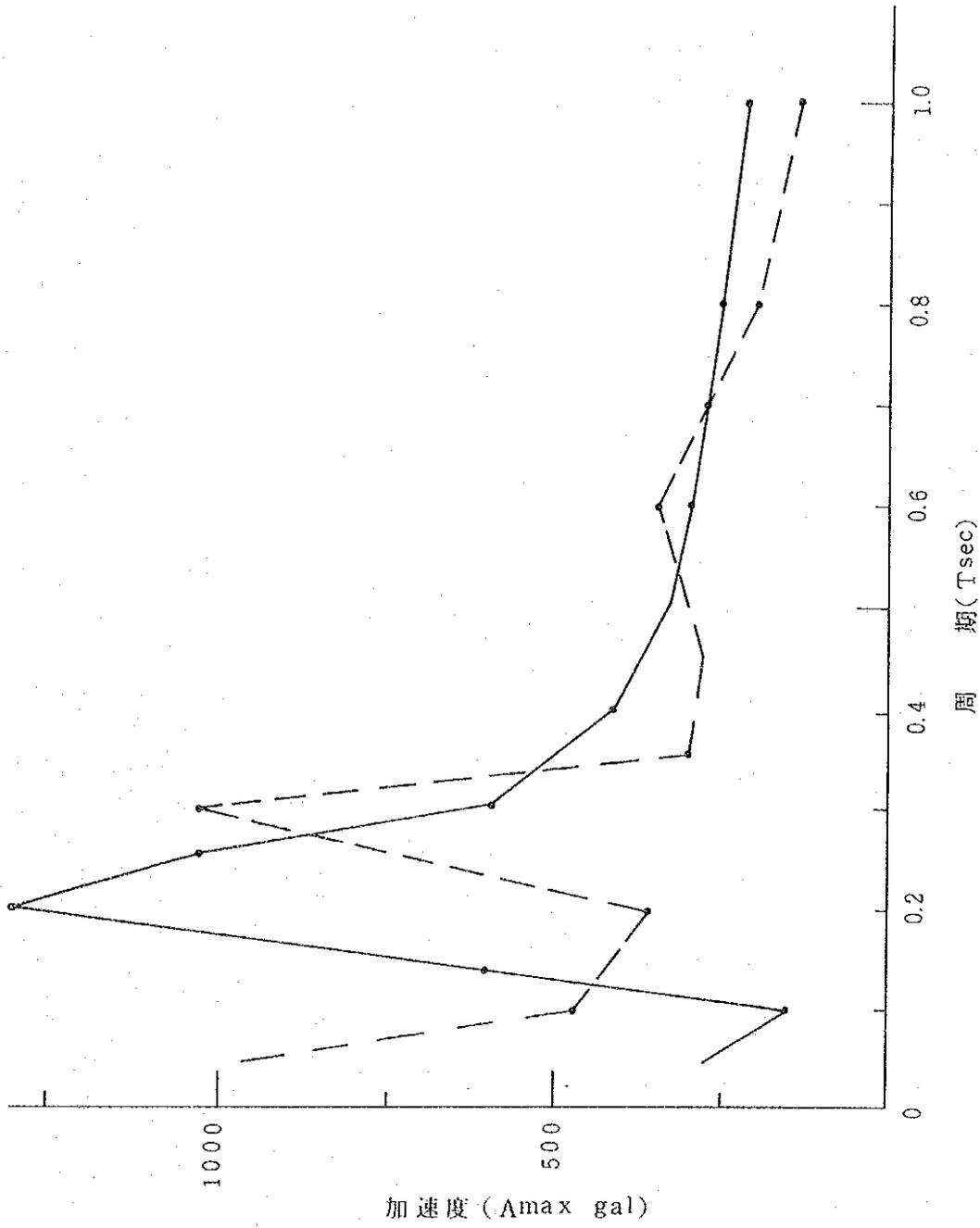


図 5.2.4 レニナカンのサイスモスコープ記録から算出した加速度 (略図)  
 (地動か振子の応答か不明)

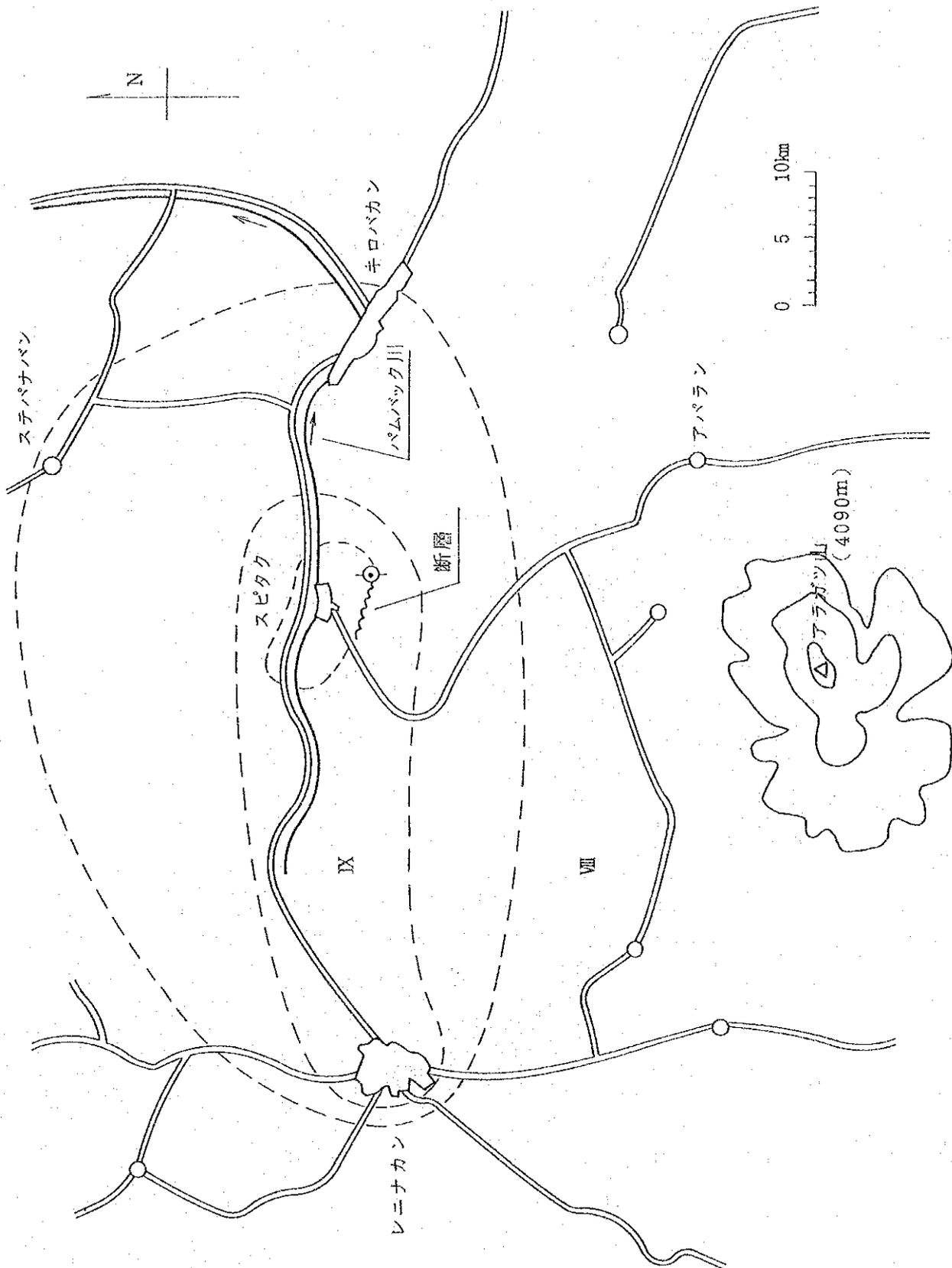


図 5.2.5 スピタク地震による各地の震度



## 6. アルメニア・スピタク地震による被害

### 6.1 建築物の被害

#### (1) 概況

今回の地震による被害統計は12月23日現在で未だ確定していない。本節に述べる概況は、アルメニア共和国建築研究所より得た情報に本専門家チームの調査による推定を加味したものである。

建築物の被害は、電源ほゞ直上のスピタク市（人口約2万人）、西方約35kmのレニナカン市（人口約30万人）及び震央より東方約20kmのキロバカン市（人口約20万人）において激しく、4～5階建の補強石造の集合住宅及び9階建のプレキャスト鉄筋コンクリート造フレーム構造の集合住宅が300棟近く完全に崩壊したため、多数の死者を出した。被害率はスピタク市ではほぼ100%、レニナカン市で80%、キロバカン市で20%程度のことである。

死者の数は、12月8日ソ連邦対外経済関係省の調べによれば、9万人、12月10日ソ連邦政府公式発表では4.5万人となっているが、崩壊した集合住宅の棟数からみて、死者4万～5万人規模の惨事であることは間違いないと考えられる。

なお、震央距離約80kmのエレバン市（人口約100万人）にもレニナカン市と同種の建築物が多数あるが、今回の地震では被害はほとんどなかった。

#### 1) 集合住宅の被害

アルメニア共和国建築研究所の調査による集合住宅の被害は以下の通りである。

i) 補強石造：過去約30年間に建設された4～5階建て、凝灰岩による組積造で、壁の隅角部などには鉄筋及びコンクリート充填による補強がなされている。床はPCパネル床が一般的である。各市での被害は以下の通りである。

- ・レニナカン 約100棟崩壊。
- ・スピタク 2、3棟を除き約60棟すべて崩壊。
- ・キロバカン 約15棟崩壊。

レニナカン及びキロバカンにおける全数は不詳であるが、3市全体で約40%が崩壊したとのことである。

ii) プレキャスト鉄筋コンクリートフレーム構造：過去約10年間に建設された9階建てで、外壁はプレキャストコンクリート帳壁が多用されている。各市での被害は以下の通りである。

- ・レニナカン 約100棟すべて崩壊。
- ・スピタク 本構造はない。（但し、現地視察によれば、30～50棟が2棟を残してすべて崩壊した模様である。なお、これらの階数は5階建と

思われる。)

・キロバカン 約70棟建設されていたが崩壊はない。

iii) プレキャストコンクリート大型パネル構造：1985年より建設されたもので、5～16階建である。

・レニナカン 建設中も含めて9階建が7棟あったが崩壊はない。

・スピタク 5階建1棟崩壊なし。

iv) 在来石造：凝灰岩を用いた旧式の組積造。

レニナカン市には1920年代より建設された在来方式の2～3階建の石造住宅が非常に多く、崩壊したのものもあったが、詳細は不明である。

震源地に近い集落では1～2階建の在来方式の石造個建住宅があった。これらについてはある部落、例えばレニナカンの北東約15kmの Shelak ではかなりの被害が生じているが、すぐ近くの Jajuk では被害軽微であったなどの情報があるが詳細は不明である。

2) 学校建築の被害：2～3階建のプレキャスト鉄筋コンクリート構造の校舎に次の被害が生じた。

・レニナカン 7～8棟が崩壊（全数は不詳）

・スピタク 8棟中7棟が崩壊。

・キロバカン 崩壊なし。

(2) 主な被災地における建物の被害状況

1) スピタク

スピタクは図6.1.1に示したように震央に最も近い所に位置する人口約2万人の、工業を中心とする町である。また、図6.1.2に示すように、東西方向に発達する町の中心低地部にはパムバック川が東へ流れ、これに平行して鉄道が通っている。この低地部を挟んで北側及び南側の近陵部に市街地が発達しており、南側中央部には頂に石造の記念塔の建つ小高い丘がある。また、町の東南部には更にパムバック川の支流が南西から北東へと流れている。

この町の建物は主として次のように分類されるが、全て5階建て以下の建物ばかりであり、またWPC造による建物もない。

- i. RPC造による5階建てアパート
- ii. RMS造による5階建てアパート
- iii. 石造による平家又は2階建て住宅等
- iv. RPC造による平家から3階建ての工場
- v. プレキャスト鉄筋コンクリート造による大型サイロ及び工場

これらの建物群の被害状況は図6.1.2 に示す如く、次のように大別される。

- i. 地域 (I-1) : R P C造による5階建てのアパート群(建物数は不明、多分数十棟と思われる)のほぼ全体が崩壊した。小被にとどまったものはP C壁板が多く用いられているもの一棟であり、また、かろうじて崩壊しなかったものは3棟のみである(写真6.1.1)。
- ii. 地域 (I-2) : R M S造による5階建てアパートや石造住宅の大多数が崩壊又は、これに近い被害を受けた(写真6.1.2)。
- iii. 地域 (I-3) : R P C造や石造による工場、石造による平家又は2階建ての住宅の大多数が崩壊又は大破となった(写真6.1.3)。
- iv. 地域 (II-1) : R M S造による5階建てアパートや石造住宅の大多数が大破に近い被害をうけた(写真6.1.4)。
- v. 地域 (II-2) : R P C造や石造による工場、石造住宅の大多数が大破に近い被害をうけた(写真6.1.5)。
- vi. 地域 (II-3) : 石造住宅の大多数が大破した。
- vii. 地域 (III-1、III-2) : 石造住宅が大多数で、外観上は被害が少ないように見えた(写真6.1.6、6.1.7)。
- viii. 地域 (iv) : 小高い丘の斜面に墓地があったが、高さ/厚さの比の大きな墓石(脚部はモルタルの施工あり、埋込みは不明)でも転倒したものは皆無であった(写真6.1.8)。

この他、丘の上の記念塔(小破:写真6.1.9)や大型サイロ(一部崩壊:写真6.1.10)など、主な構造物の被害概要を図6.1.2 に示した。

## 2) レニナカン

図6.1.1 に見るように、レニナカンは震央から西へ約35kmの距離にある。この町は北及び東側が台地で、また西側は小高い丘となっており、これらに囲まれ、主として南側に開ける盆地状の地形の縁に発達している。市中心部から西方約5kmの所に南北方向に流れるアクヌリアン川とそれに併行して流れるケルケッツ川があり、また、水流の少ないその支流が市の中央部を南北方向に一部暗きよとして流れている。また、図6.1.3 のように市の東縁部を鉄道がほぼ南北方向にとっており、レニナカン駅は市の東縁中央部に在る。レニナカン市は、紀元前から発達した人口約29万人のアルメニア第2の都市であり、このために、街の中央部及びそれより南側の部分は旧市街地で、石造の古い教会、公共建物や事務所建築などがある。これに対し、主として町の北西部周辺に、約10年以前から高層(主として9階建)アパートを中心とした住宅団地が建設され始め、現在も建設が続いている。レニナカン市における建物種別として

は、4.6 節に記した各種の構造、構法のものがあるが、これらの建物の外装は、構造体である場合も含めて全て Tuff である。レニナカン市の市街区域はかなり広範にわたるため、その全てを観察することはできなかったが、一応全市街区域の要所要所をまわることができた。

このようにして観察した範囲内で、図6.1.3 に示した各区域毎に、存在する建物の主な構造種別とその被害状況を記せば次の通りである。

- i. 地域 (I-1) : 主として9階建のR P C造アパートのみが建つ居住区であり、約20%前後(推定)のアパートがかろうじて倒壊を免れたが、残りの大多数が完全に崩壊した(写真6.1.11. 及び6.1.12)。
- ii. 地域 (I-2) : 古い石造建物に混り、5階建のR M S造アパートやR P C造アパートなどが建っている混在地域であり、完全に崩壊した建物が少なくない(写真6.1.13)。
- iii. 地域 (II-1) : 石造による教会、公共建物等3階建て以下の建物が多い市の中心部。崩壊又は大破した建物が数多く見られる中で、平家や2階建の小規模建物の被害は少ないように見られた(写真6.1.14)。
- iv. 地域 (II-2) : 駅からレニナカン広場に至るメインストリートの両側の建物は3階建の石造集合住宅(無補強と思われる)が多く、この地域では主として妻壁部分を中心に大破した建物と無被害のように見える建物とが混在した(写真6.1.15)。
- v. 地域 (III-1) : 市の最も北側に位置する住宅団地であり、この一角にはW P C造による9階建アパートが数棟(少なくとも6棟以上)建っており、一棟は7階まで壁パネルが建て上った状態であった。この建設中の一棟(8階床スラブ落下破損など)を除いては、被害は殆どなかったとの説明であった(写真6.1.16)。
- vi. 地域 (III-2) : エレバン方面からレニナカンに入る入口の街道沿いにはR P C造(推定)による5階建てのアパートが10棟近く並んで建っていた。これらの各建物共、棟端部の小開口付壁パネルまわりに一様な斜めひびわれの発生が見られた他は、ガラスの破損も少なく外装からは被害は殆ど見られなかった(写真6.1.17)。
- vii. 地域 (III-3) : 主として石造による古い平家住宅等の多い地域であり、局部的に石造壁の破損落下が見られた程度で、比較的被害は少ない地域である(写真6.1.18)。
- viii. 地域 (iv) : アクスリアン川の更に西側の東下がりの丘陵斜面に石造平家を中

心とする集落が存在したが、被害はないとの説明であった（写真6.1.19）。

上記の他、図6.1.3には南西よりの斜面に立つ立像（無被害：写真6.1.20）、同じく石造のスタジアム（同、写真6.1.21）、レニナカン駅（石造2階建て無被害：写真6.1.22）及び市で最も高い16階建RC及びPCの混合構造によるアパート（大破、前出）等主要な建物等の所在地を示した。

### 3) キロバカン

キロバカン市は震央から西へ約20kmの距離に位置し、南側及び北側丘陵地に挟まれて、ほぼ東西に流れる川沿いに細長く発達している町で人口は約17万人とされている。この町では前述のように約15棟のRMS造アパートが崩壊したとの報告を得たが、現地ではごく一部の街並みを観察するにとどまった。一見した範囲内では、上記のスピタク及びレニナカンの両市と比べ、被害程度はかなり少なかった模様である。建物の一部が倒壊し、解体撤去されたRMS造の5階建アパート（写真6.1.23）に隣接するアパートの1階内部を観察した所、殆どひびわれも見られなかった。写真6.1.24は市の東北側の斜面に広がるRMS造の工場やアパート群を示すが、著しい被害は見られない。

### 4) その他の都市など

上記の3つの市以外の地域の内、図6.1.1に示すように、この3つの市を結ぶ道路沿いの村落等の被害の概況は次の通りである。

#### i. スピタクから西へ約10km程の小さな村落

石造による平家の住宅等が存在した模様であるが、屋根が木造であるものが多いのにも拘らず、殆どの家屋が崩壊した。また、この村落近くの駅のPCによるプラットフォームが沈下した（写真6.1.25及び6.1.26参照）。

#### ii. エレバンから北西へ約15kmのアントラック市

標高差約15m内外の狭谷をはさんで、1、2階建て石造住宅等が散在しているが、被害は殆どなかった（写真6.1.27）。

#### iii. レニナカンの南方約25km（震央から西南西約40km）のマラリク付近には写真6.1.28のようなスレンダーな部材によるRC工場や石造住宅が散在したが被害は見られなかった（写真6.1.28）。

#### iv. エレバン市

人口約100万人のアルメニアの首都であり、震央から略南へ約80kmの距離にある。街には5階建前後のRMS造アパート、10階建前後のRPC造アパートなどきわめて多くの建物が建ち、かつまた市の北方郊外にはRPC造によると思われる多数の高層アパート群が建設中である。前述のように市の建築研究所の1階に設置された強震計

によって、最大62galの強震記録が得られたが、現在の所エレバン市については、建築物の被害について特段の報告がなされていない（写真6.1.29、6.1.30）。

### (3) 建築物の構造種別に見られる典型的な被害

#### 1) 石造低層建物

石造低層建物は用途及び建物規模の点で平家又は2階建の専用住宅及び2又は3階建のアパート、事務所、商店、教会、公共建物等に分類される。また、石造の壁の構造の点では図4.6.3に示したように、整形した石を目地モルタルを用いて組積するタイプ（組積型石造と略称する）と、外面のみ長方形に整形した石材を壁の内、外面に形枠状に並べ、その間に石やコンクリートを充填するタイプ（充填型石造と略称する）の二種類に大別される。専用住宅では両者が見られるが、3階建以上の建物では充填型が多い。

専用住宅の被害は、主としてスピタク市では顕著であり、中でもスピタク市の中央低地周辺（図6.1.2のⅠ-3及びⅡ-3地区）では構造の種別を問わず、殆ど全滅に近い状態であった。その状況を写真6.1.31から写真6.1.33に示す。これに対し、スピタク市の南側丘陵部（図6.1.2のⅢ-1及びⅢ-2地区）及びレニナカン市のほぼ全市域では、専用住宅の被害は比較的に少ないように見られた。その状況を写真6.1.6（前出）及び写真6.1.34に示す。これらの専用住宅の被害形態は、後述する2、3階建建物のそれと共通する所が多い。

専用住宅以外の2、3階建石造建物の被害例はレニナカン市で多くみられたが、スピタク市ではあまり見られなかった。レニナカン市における例を写真6.1.35から写真6.1.38に示す。

これらの建物の中で崩壊にまでは至らず大破の状態にとどまった場合の被害状況を見ると、床板やトラスなどを直接支持していない妻壁の頂部や隅角部などの被害が大半を占めている。

#### 2) 補強石造集合住宅

石造によってアパートを構築している例としては、3階建て以下では無補強の例も見られたが4、5階建ての場合は4.6に記した耐震規定にのっとった補強が行われている建物が多く見られた。

しかしながら、補強の程度や壁の量（通常、単位床面積当りの壁の長さで表わす）については、必ずしも一定の傾向が見られず、中には開口が大きく、ラーメン構造に近い建物も見られた。

これらの建物は過去30年程の間にレニナカン、キロボカン、スピタクの3市に約450棟程建てられているが、この内、レニナカンでは約100棟が崩壊又は大破、またスピタク市では2、3棟を残して残りの約60棟が崩壊又は大破した。キロボカン市では約15棟