

ASEAN工業プロジェクト
タイ王国ソーダ灰工場設立計画
第1次評価調査報告書

1980年8月

国際協力事業団

鉱計工

80-108

ASEAN工業プロジェクト
タイ王国ソーダ灰工場設立計画
第1次評価調査報告書

1980年8月

JICA LIBRARY



1050137[7]

国際協力事業団

国際協力事業団	
受入 月日 84.8.30	122
登録No. 14499	684
	MPI

は し が き

日本はアジアの一員としてASEAN諸国の繁栄を心から願うものであり、従って、ASEAN工業プロジェクトの一つとして推進されつつある当該タイ・ASEAN岩塩・ソーダ灰工場設立計画が成功裡に実施されることに、多大な関心を払うものである。

日本国政府はタイ王国政府の要請に基づいて、ASEAN工業プロジェクトとして先にカナダのSNC社が実施したROCK SALT-SODA ASH PROJECT調査レポートを評価調査することを決定し、国際協力事業団に調査の実施を委託した。

要請に応じて、昭和54年3月に予備調査を実施したところ、総合的な評価調査を実施するまでに、岩塩鉱床について再調査を行なう必要性をタイ及び日本双方は認識するに至り、先ず岩塩鉱床の解析に限定した岩塩・ソーダ灰工場設立計画第一次調査を実施した。

本報告書は以上の事を背景に実施した第一次調査の結果をとりまとめたものである。

今後、予定される総合的な評価調査を実施するに際しては、本報告書が十分に活用されることを期待したい。

最後に、本調査に際して多大のご協力をいただいたタイ王国政府関係者、在タイ日本国大使館、並びに調査派遣についてご支援いただいた外務省、通商産業省の関係各位に対し衷心より感謝の意を表わすものである。

1980年8月

国際協力事業団

総裁 有 田 圭 輔

伝 達 状

国際協力事業団

総裁 有田 主輔 殿

ここに提出する報告書は、ASEAN工業プロジェクト・タイ王国岩塩・ソーダ灰工場設立計画第1次評価調査に関するものであります。

ASEAN工業プロジェクト・タイ王国岩塩・ソーダ灰工場設立計画調査は予備調査・第1次評価調査および第2次評価調査よりなるものであり、このうち第1次評価調査は国際協力事業団の委託をうけて日鉄鉱業(株)が実施しました。

第1次評価調査はタイ国 Bamnet - Narong 岩塩鉱床に対してタイ国工業省鉱山局が実施した4本(967.65m)の追加試錐について、

- (1) 試錐実施方法について事前に技術的な協議のため、専門技術者(1名)をタイ国へ派遣
- (2) 試錐終了に伴い岩芯調査・試料採取のため、専門技術者(2名)をタイ国へ派遣
- (3) 採取試料について化学分析、物性試験を日本国内で実施
- (4) 分析、試験などによって得られたデータの解析

などであります。

また、第1次評価調査の主題は、

- (1) Bamnet - Narong 岩塩鉱床の構造の解明
- (2) 岩塩鉱床の純分、不純分の分布の解明
- (3) 採掘対象岩塩層の選択
- (4) 岩塩採掘計画に必要とする物性値の計測および解析

などであります。

調査の結果、Bamnet - Narong 岩塩鉱床に関する多くの基礎資料を得ることができました。

これらの基礎資料は、近く実施される第2次評価調査(ソーダ灰工場設立計画に関する総合調査)において十分に活用され得るものと確信いたします。

本調査の実施にあたり、諸般のご協力を賜った外務省、通商産業省、国際協力事業団、在タイ日本大使館およびタイ国工業省鉱山局の方々に対して心から感謝の意を表します。

1980年8月

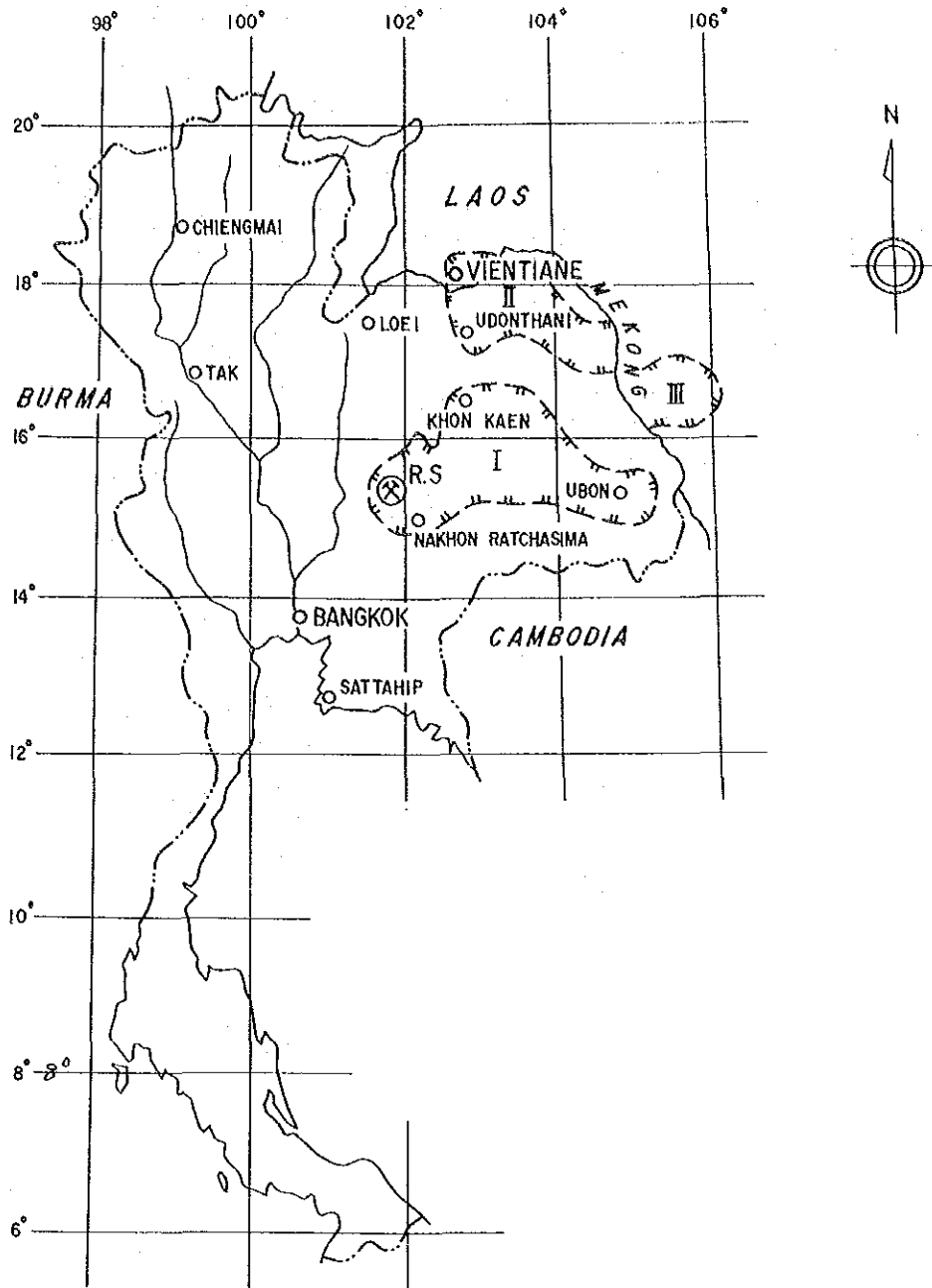
ASEAN工業プロジェクト

タイ王国岩塩・ソーダ灰工場設立計画

第1次評価調査団

団 長 大 房 稔

(日鉄鉱業(株) 資源調査室)



EXPLANATION



SEDIMENTARY BASINS UNDERLAIN EXTENSIVELY OR COMPLETELY BY ROCK SALT AND GYPSUM/ANHYDRITE

I : KHORAT BASIN (THAILAND)

II : SAKHON NAKHON BASIN (THAILAND)

III : MUONG PHALANE BASIN (LAOS)



ROCK SALT MINING SITE (BAMNET NARONG)

Fig.1 Index map of Thailand

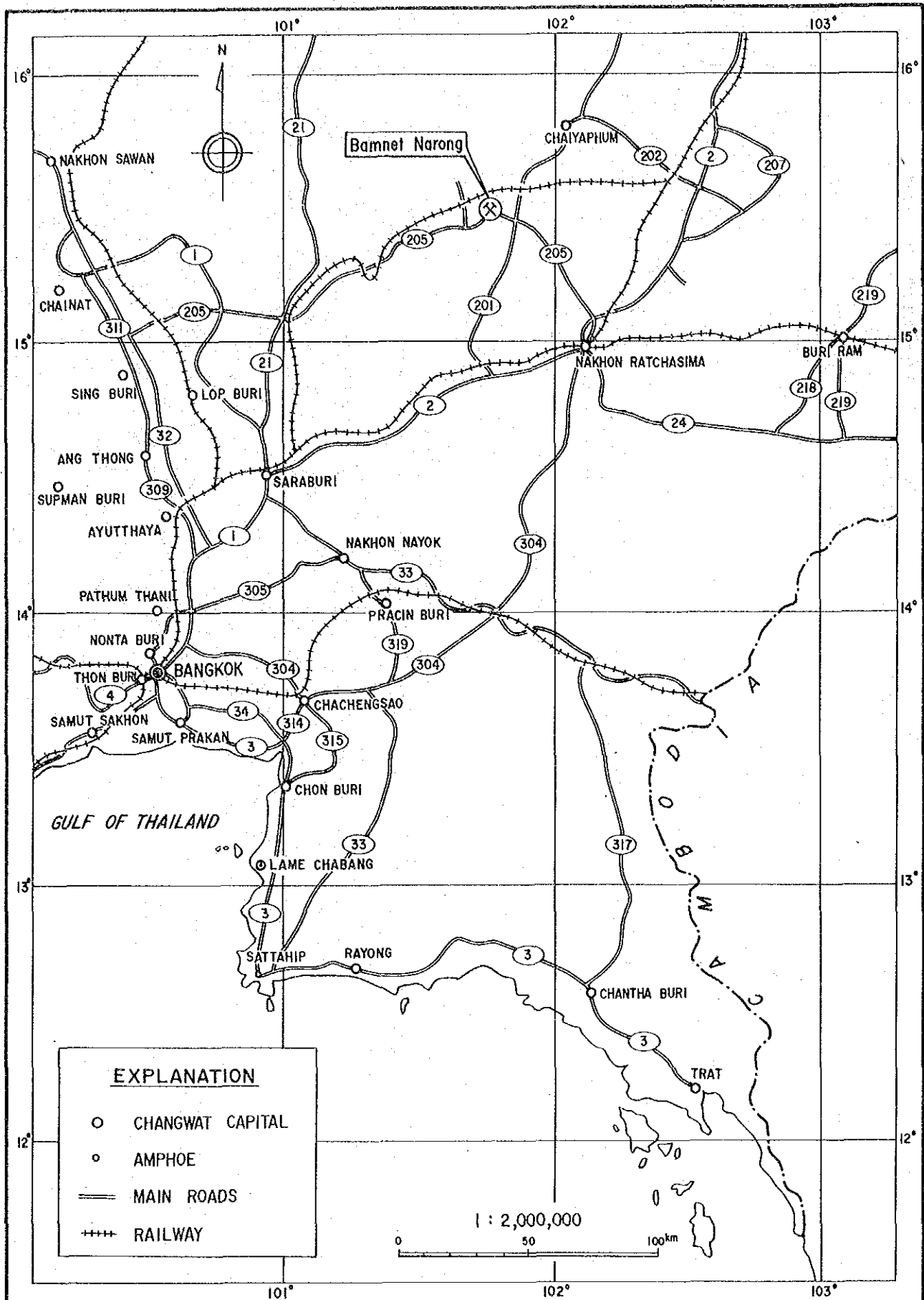


Fig.2 Index map of project area

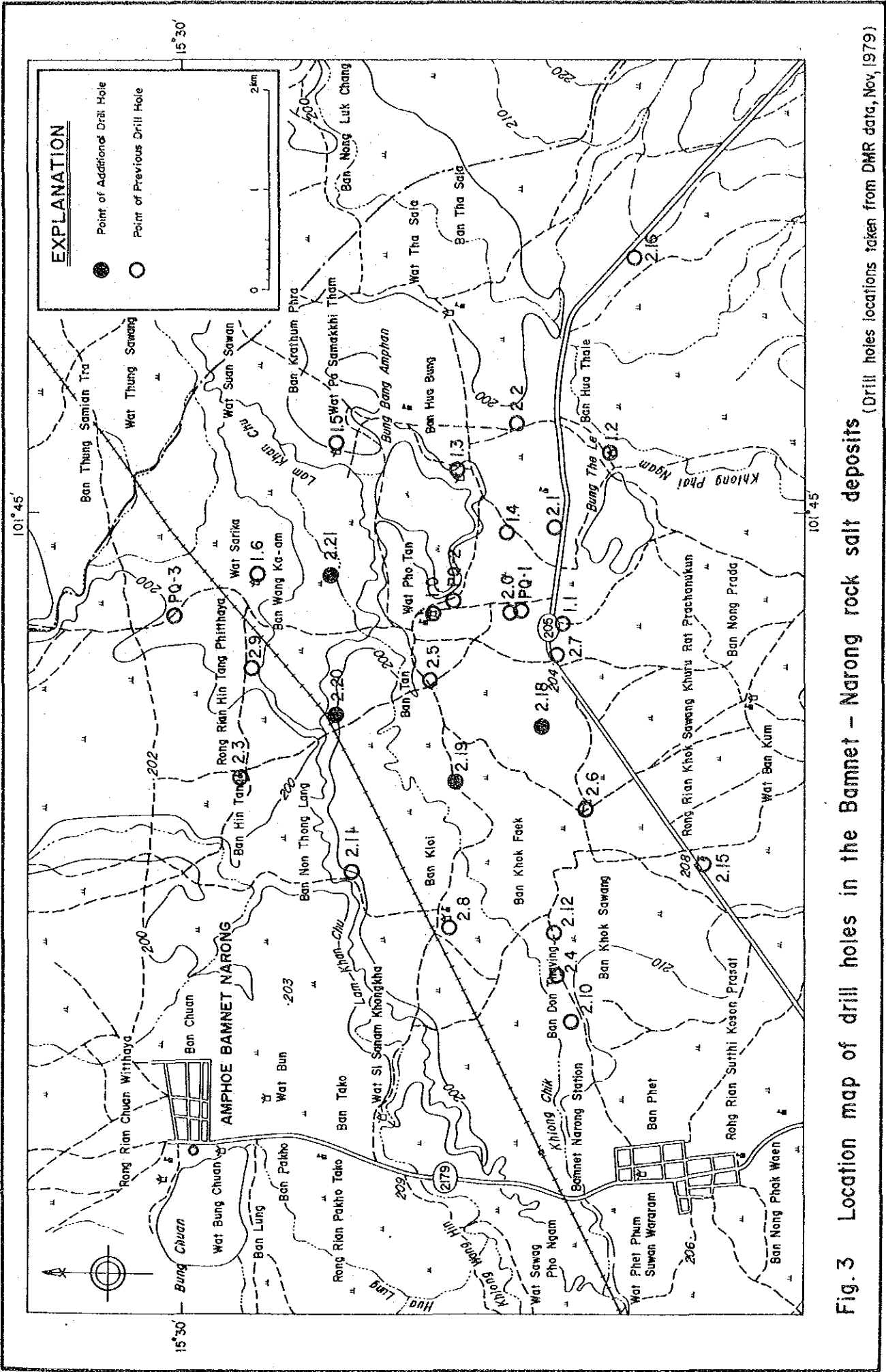


Fig. 3 Location map of drill holes in the Bannet - Narong rock salt deposits (Drill holes locations taken from DMR data, Nov, 1979)

要 旨

Bamnet-Narong 岩塩鉱床はタイ国北東地域のクラート高原の南西部、おおよそ北緯 $15^{\circ}28'$ 、東経 $101^{\circ}24'$ に位置する。

ASEAN工業プロジェクト・タイ王国ソーダ灰工場設立計画は、この岩塩鉱床を原料供給源として進められているが、近く予定されている第2次評価調査に先立ってこの岩塩鉱床の基礎資料を得るために、第1次評価調査を実施した。調査は1979年8月から1980年6月にかけて実施した。

この第1次評価調査においては、追加試錐の実施、岩芯調査、化学分析、物性試験およびこれらの調査結果に対する解析を行った。

これらの調査により次のことが明らかになった。

1. Bamnet-Narong 岩塩鉱床は厚さ $100\text{ m} \sim 280\text{ m}$ の岩塩層が賦存しており膨大な量の岩塩が埋蔵されている。
2. この岩塩層は Halite-A, Halite-B の2層に区分ができる。
3. Halite-A は、さらに D-area に賦存するものと S-area に賦存するものがある。
4. このうち、S-area の Halite-A が構造的にも品質的にも優れている。
5. S-area の Halite-A は、化学分析結果から NaCl 95% 以上のものが十分に確保できるものであるが、最近の日本輸入塩にくらべて硬石膏、不溶解残渣物を普へん的にやや多く含有している。
6. 一方、物性値から判断すると圧縮強度は Halite-A 層に於いて 210 Kg/cm^2 程度であり、坑内採掘が可能であることが判明した。
7. 又、岩塩特有のクリープ性状、封圧下に於ける挙動等、採掘設計に必要な物性値を確認することができた。

目 次

はしがき

伝達状

要 旨

第1章 序 説	1
1.1 経緯および目的	1
1.2 Bamnet-Narong 岩塩鉱床の位置および交通	1
1.3 調査内容	1
1.4 調査実施者	3
1.5 既調査の概要	3
第2章 現地調査	4
2.1 試錐作業	4
2.2 岩芯調査および試料採取	4
2.3 試料送付	6
第3章 化学分析および物性試験	8
3.1 化学分析	8
(1) 試料・分析成分および分析装置	8
(2) 結 果	8
3.2 物性試験	8
(1) 物性試験用試料の選定	8
(2) 試験片の作成法	10
(3) 測 定	10
(4) 試験装置と測定方法	15
(5) 測定結果	17
(6) 補遺 — 三軸圧縮試験	18
第4章 解 析	45
4.1 地 質	45
(1) タイ国北東地域の地質概況	45

(2) Bamnet-Narong 岩塩層およびその区分	45
(3) 岩塩層の特徴	49
(4) 採掘対象岩塩層	53
4.2 化学分析	53
(1) 塩主成分	53
(2) 微量成分	54
(3) SO ₄ と NaCl との関係	54
(4) Br と K との関係	54
(5) DMR 分析値と JICA 分析値の比較	64
4.3 硬石膏の賦存状況	64
(1) 分布および形状	64
(2) X線回折	71
(3) 顕微鏡観察	71
4.4 不溶解残物	71
(1) X線回折	71
4.5 平均含有成分	81
(1) 塩主成分の平均値	81
(2) 日本輸入塩との比較	81
4.6 圧縮強度と引張強度の特性	86
(1) 試錐孔別の差異	86
(2) 硬石膏バンドの有無による差異	86
(3) 層別の差異	87
4.7 P波速度の特性	87
4.8 硬度特性	88
4.9 クリーブ特性	88
4.10 封圧下における特性	91
4.11 その他	92
第5章 結 論	94

LIST OF TABLES

			Page
Table	1.1	Progress of first-stage survey	2
	2.1	Result of core drilling operations	5
	2.2	Summary of core investigation and sampling work	7
	3.1	Details of components by chemical analysis	9
	3.2	Samples classified by halite beds	11
	3.3	Depths of sampling site	13
	3.4	Numbers of test pieces classified by tests	14
	3.5	Numbers of measurements	16
	3.6	Results of uniaxial compression test, P-wave velocity and density measurement	19
	3.7	Results of Shore hardness test	20
	3.8	Results of Brazilian test	21
	3.9	Results of creep test	22
	3.10	Results of triaxial compression test	23
	4.1	Stratigraphy of Northeastern Thailand	46
	4.2	Comparison between Halite-A in D-area and that in S-area	52
	4.3	X-ray diffraction analysis of water-insolubles	72
	4.4	Calculation result of the mean contents of chemical components of rock salt from additional drilling cores at Bamnet-Narong	82
	4.5	Average chemical composition of salt rocks of the Dead Sea Group	83
	4.6	Physical properties by drill hole	86

		Page
Table 4.7	Difference in physical properties between test pieces with and without bands	86
4.8	Difference among halite beds	87
4.9	P-wave velocity by drill hole	87

LIST OF FIGURES

		Page
Fig. 1	Index map of Thailand	
2	Index map of project area	
3	Location map of drill holes in the Bamnet-Narong rock salt deposits	
3.1	Sample location of rock mechanics tests	12
3.2	Photographs showing rock mechanics tests	25
3.3 (a)	Stress-strain curve, Test piece No. 18-4	35
(b)	Stress-strain curve, Test piece No. 19-9	35
(c)	Stress-strain curve, Test piece No. 20-6	36
(d)	Stress-strain curve, Test piece No. 20-19	36
(e)	Stress-strain curve, Test piece No. 21-11-1	37
(f)	Stress-strain curve, Test piece No. 21-25	37
3.4 (a)	Strain-time curve for constant stress, Test piece No. 18-6	38
(b)	Strain-time curve for constant stress, Test piece No. 19-14	39
(c)	Strain-time curve for constant stress, Test piece No. 21-11-2	41
(d)	Strain-time curve for constant stress, Test piece No. 21-13-1	41
3.5 (a)	Stress-strain curve of triaxial compression test Test piece No. 16-1	43
(b)	Stress-strain curve of triaxial compression test Test piece No. 18-2	43
4.1	Geological map of northeastern Thailand	47
4.2	Columnar-stratigraphic section of additional drill holes at Bamnet-Narong	48

		Page
Fig.	4.3	Map showing distribution of D area and S area 50
	4.4	Schematic profile of the rock salt bed at Bamnet-Narong 51
	4.5	Histograms showing NaCl content distributed in rock salt of additional drill holes 53
	4.6 (a)	Vertical variation of main components of rock salt in the drill hole RS. 2. 18 55
	(b)	Vertical variation of main components of rock salt in the drill hole RS. 2. 19 57
	(c)	Vertical variation of main components of rock salt in the drill hole RS. 2. 20 59
	(d)	Vertical variation of main components of rock salt in the drill hole RS. 2. 21 61
	4.7	Relation between NaCl content and SO ₄ content in the drill hole samples 63
	4.8 (a)	Bromine and potassium distribution through halite of drill hole RS. 2. 18 65
	(b)	Bromine and potassium distribution through halite of drill hole RS. 2. 19 66
	(c)	Bromine and potassium distribution through halite of drill hole RS. 2. 20 67
	(d)	Bromine and potassium distribution through halite of drill hole RS. 2. 21 68
	4.9	Results of chemical analysis comparison between JICA data and DMR's) 69
	4.10	Photographs showing anhydrite in rock salt 73
	4.11	Photomicrographs of anhydrite in thin sections 75
	4.12	Average contents of rock salt components of Bamnet-Narong 84

		Page
Fig.	4.13 Comparison of chemical components between Bamnet-Narong rock salt and Japan-imported salt	85
	4.14 Relationship between P-wave velocity and compressive strength.....	89
	4.15 Burgers model	88
	4.16 Voigt model	90
	4.17 Relationship between confining stress and compressive strength	93

LIST OF APPENDICES

			Page
Appx. 1	(a)	Log record and chemical analysis data of drill hole RS. 2. 18	A-1
	(b)	Log record and chemical analysis data of drill hole RS. 2. 19	A-5
	(c)	Log record and chemical analysis data of drill hole RS. 2. 20	A-9
	(d)	Log record and chemical analysis data of drill hole RS. 2. 21	A-13
Appx. 2	(a)	Chemical analysis of drill-hole RS. 2. 18 (Main components of rock salt)	A-17
	(b)	Chemical analysis of drill-hole RS. 2. 19 (Main components of rock salt)	A-20
	(c)	Chemical analysis of drill-hole RS. 2. 10 (Main components of rock salt)	A-24
	(d)	Chemical analysis of drill-hole RS. 2. 21 (Main components of rock salt)	A-28
Appx. 3	(a)	Concentration of heavy metal in rock salt samples (Drill-hole 2. 18)	A-33
	(b)	Concentration of heavy metal in rock salt samples (Drill-hole 2. 19)	A-34
	(c)	Concentration of heavy metal in rock salt samples (Drill-hole 2. 20)	A-35
Appx. 4	(a)	Chemical analyses of rock salt samples RS. 1.3	A-36
	(b)	Chemical analyses of rock salt samples RS. 1.6	A-37
	(c)	Chemical analyses of rock salt samples RS. 2.2	A-38
	(d)	Chemical analyses of rock salt samples RS. 2.5	A-39

		Page
Appx. 4	(c) Chemical analyses of rock salt samples RS. 2.9	A-40
Appx. 5	(a) X-ray diffraction chart of rock salt, Sample 19-5	A-41
	(b) X-ray diffraction chart of rock salt, Sample 20-18.....	A-41
Appx. 6	(a) X-ray diffraction chart of water-insolubles, Sample 18-14	A-43
	(b) X-ray diffraction chart of water-insolubles, Sample 18-31	A-43
	(c) X-ray diffraction chart of water-insolubles, Sample 19-3	A-45
	(d) X-ray diffraction chart of water-insolubles, Sample 19-11	A-45
	(e) X-ray diffraction chart of water-insolubles, Sample 20-4	A-47
Appx. 7	Summarized table of rock mechanics test results	A-49
Appx. 8	Photographs at site	A-55
Appx. 9	(a) Photographs of drill cores RS. 2.18	A-57
	(b) Photographs of drill cores RS. 2.19	A-62
	(c) Photographs of drill cores RS. 2.20	A-67

第 1 章 序 説

1.1 経緯および目的

国際協力事業団は、タイ国政府の要請に基づいて ASEAN 工業プロジェクト・タイ王国ソーダ灰工場設立計画調査を行うこととし、本格調査を実施するに先だって、1979年3月に本件の内容を把握するための予備調査団をタイ国に派遣した。

この予備調査においてタイ国側より、「本プロジェクトの原料を供給する Bamnet-Narong 岩塩鉱床については十分な検討がなされていない。従って本格調査実施以前に岩塩鉱床の純分、不純分の化学分析ならびに岩塩採掘計画立案に供する岩塩の物性試験を行う必要があり、タイ国側としては、化学分析および物性試験を日本側が実施してくれることを前提として、自国予算にて Bamnet-Narong 地区に 3,000 ft の追加試錐を行いたい。」旨の表意がなされた。

これに対して、日本側は検討を重ねた結果、岩塩鉱床に対する事前調査が必要であることを認め、タイ国側要請の岩塩の化学分析、岩塩の物性試験を日本側で実施することとし、これを「ASEAN 工業プロジェクト・タイ王国ソーダ灰工場設立計画第1次評価調査」とし、専門技術者のタイ国への派遣、日本国内における採取試料の分析・試験および解析を行った。

すなわち、第1次評価調査の目的は第2次評価調査（ソーダ灰工場設立に関する総合調査）で実施されるソーダ工業の原料である岩塩の資源調査および採掘計画立案のために必要とする基礎資料を得ることである。

1.2 Bamnet-Narong 岩塩鉱床の位置および交通

Bamnet-Narong 岩塩鉱床は Chaiyaphum 県 Bamnet-Narong 郡にあり、バンコック市北東直距約 220 Km、ナコンラチャシマ市北西直距約 70 Km、北緯 15° 28'、東経 101° 24' に位置する。
(1/50000 地形図, Amphore Bamnet-Narong, 5339, IV)

本地区には国道 205 号線（舗装 2 車線）および国有鉄道線が近接して至便である。

1.3 調査内容

第1次評価調査における、追加試錐、試錐実施上の技術的な打合せ、試錐によって得られた岩芯調査および試料採取、日本国内における各種の分析および試験については Table 1.1 のように行われた。

Table 1.1 Progress of First-Stage Survey

		1979	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	1980	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.
Thai side	Additional-drilling		▬ (RS. 2. 18) ▬ (RS. 2. 19)	▬ (RS. 2. 20)				▬ (RS. 2. 21)							
Japan side	Technical meeting		▬ (Sending a geologist to Thailand)												
	Investigation				▬ (Sending two geologists to Thailand)										
	Chemical analyses				▬			▬				▬			
	Rock-mechanics tests				▬			▬				▬		▬	
	Studies							▬						▬	

1.4 調査実施者

a. 追加試錐

タイ国工業省鉱山局 試錐チーム

b. 追加試錐実施方法検討会

タイ国工業省鉱山局 Dr. Anant Suwanapal

Thawat Japakasetr

JICA (日鉄鉱業㈱) 大房 穆

c. 岩芯調査および試料採取

JICA (日鉄鉱業㈱) 大房 穆

松永 潤

(RS. 2.21孔についてはタイ国鉱山局で実施)

d. 化学分析

日鉄鉱業㈱技術開発部三鷹研究所

e. 物性試験

日鉄鉱業㈱技術開発部三鷹研究所

東京大学工学部資源開発工学科教室

f. 解析

(a) 地質

日鉄鉱業㈱資源調査室 大房 穆

〃 事業開発部 松永 潤

(b) 化学分析

日鉄鉱業㈱資源調査室 大房 穆

(c) 物性試験

日鉄鉱コンサルタント㈱ 今井 嘉行

1.5 既調査の概要

アジア開発銀行の委託に応じてカナダの SNC INC. が1977年～1978年にかけて Bamnet-Narong 地区の調査を行い、その調査結果は「Report on the Feasibility of a Rock Salt-Soda Ash Project in Thailand」のなかに述べられている。

第2章 現地調査

Bannet-Narong の岩塩鉱床に対する追加試錐4本(967m65)はタイ国工業省鉱山局によって行われた。

また、追加試錐4本のうち1979年10月下旬までに終了した3本の試錐(2.18孔, 2.19孔, 2.20孔)の岩芯調査, 試料採取については日本より派遣された地質技師2名により行われた。残り1本(2.21孔)は掘進時期がおくれたため, タイ国側によって日本の地質技師が実施したと同じ方法によって試料採取が行われた。

これら, 現地作業状況は以下の通りである。

2.1 試錐作業

試錐作業はタイ国工業省鉱山局によって2回に分けて実施されたが, これは2.21孔の実施位置が水田地帯であったため, 他の3本より3~4ヵ月おくれて水稲刈入れ後に実施された。

試錐はPQサイズ(85mm)で行われており, また岩芯採取率は極めて良好であった。

これら試錐作業結果を要約するとTable 2.1の通りである。

2.2 岩芯調査および試料採取

(1) 岩芯調査

試錐によって採取された岩芯について岩石名, 色調, 岩芯採取率, 層位, 硬度, 構造を調査し記載した。この調査結果の要約はAppx. 1(a)~(d)に示してある。

また, 岩芯の写真撮影を行った。この写真はAppx. 9に示してある。

(2) 物性試験用試料採取

保存良好な岩塩岩芯を約6mごとく, 長さ30~35cm/1ヶの試料を採取した。1ヶの試料の重量は約4Kgである。試料採取は金切鋸を用いて岩塩岩芯を切断した。

(3) 化学分析用試料採取

物性試験用試料採取の後に化学分析用試料採取を行った。試料採取は日本より持込んだ機器(電動カッター, ダイヤモンドソー, トランス他)を使用して全岩塩岩芯を縦に切削した。切削試料は約3mごとに区切りそれを1ヶの試料とした。さらに採取試料を小形石臼を用いて粉碎し縮分器, 篩を用いて平均縮分を行い重量約500g/1ヶの試料にした。

なお, 旧試錐5本(1.3孔, 1.6孔, 2.2孔, 2.5孔それに2.9孔)の化学分析用試料はタイ国鉱山局によって採取された。

Table 2.1 Result of Core Drilling Operations

Drill hole	Period of work	Elevation	Depth	Rock salt range		Core recovery
				Intervals	Thickness	
RS. 2. 18	Aug. 19, '79 – Sep. 18, '79	204 m	242.00 m	108.78 m – 240.47 m	131.69 m	100%
RS. 2. 19	Aug. 22, '79 – Sep. 12, '79	204 m	246.40 m	64.00 m – 246.40 m	182.40 m	99.8%
RS. 2. 20	Sep. 23, '79 – Oct. 20, '79	204 m	218.35 m	75.10 m – 216.61 m	141.51 m	99.9%
RS. 2. 21	Jan. 18, '80 – Jan. 28, '80	204 m	260.90 m	68.72 m – 258.70 m	189.98 m	100%
Total			967.65 m			

以上の「岩芯調査および試料採取」について要約するとTable 2.2の通りである。

2.3 試料送付

化学分析用、物性試験用に採取した試料は防湿、耐震を考慮して嚴重に梱包し、2回にわたって航空便で日本に搬入した。

(a) 1回目の送付

試錐3本分(2.18孔, 2.19孔, 2.20孔)の試料, 総重量722 Kg, 1979年11月14日成田着

(b) 2回目の送付

試錐1本分(2.21孔)の試料, 総重量265 Kg, 1980年3月19日成田着
なお, 現地作業状況写真の一部をAppx. 8に示した。

Table 2.2 Summary of Core Investigation and Sampling Work

Drill hole	Cores investigated	Number of samples		Investigation	Period of work
		For chemical analysis	For rock-mechanics tests		
Additional hole	RS. 2. 18	43	23	Two Japanese geologists & cooperating Thai staff	25 Oct., 1979 ~13 Nov., 1979
	RS. 2. 19	58	30		
	RS. 2. 20	46	26		
	RS. 2. 21	63	32		
Total	967.65 m	210	111	D.M.R., Thai Govt.	Jan., 1980
Previously made hole	RS. 1.3	10	-	D.M.R., Thai Govt.	Nov., 1979
	RS. 1.6	10	-		
	RS. 2.2	10	-		
	RS. 2.5	10	-		
	RS. 2.9	10	-		
Total	-	50	-		
Total		260	111		

第3章 化学分析および物性試験

日本に搬入した試料について化学分析および物性試験を以下のように実施した。また、一部の試料についてはX線回折、顕微鏡観察、顕微鏡写真撮影をも実施した。

3.1 化学分析

(1) 試料、分析成分および分析装置

化学分析は日本に搬入した化学分析試料のすべてについて行った。

すなわち、

- a. 追加試錐4本より採取した全試料210ヶについて塩主成分の H_2O 、I.M(水不溶解残物)、Cl、 SO_4 、Ca、Mg、K、Na、それにNaClの化学分析を日本専売公社の「塩務に関する分析方法 昭和50年4月」に則って湿式化学分析法によって行った。
- b. 上記試料のうち17ヶについてCd、Cr、Hg、Fe、Cu、Zn、Pb、As、V、それにMnの重金属類の分析を原子吸光法(島津原子吸光フレーム分光光度計)によって行った。
- c. 追加試錐4本から採取した210試料についてBrの分析を蛍光X線法(理学電機蛍光X線ガイガーフレックス)によって行った。
- d. タイ国鉱山局において既に化学分析を実施している旧試錐の残試料(5本分、50試料)についてCl、 SO_4 、Ca、Mg、K、NaClについて上記aと同じ方法で分析を行った。これは、タイ国分析結果を日本側分析と比較検討するために実施したものである。

以上の化学分析実施状況についてはTable 3.1に要約した。

(2) 結果

化学分析結果についてはAppx. 2, Appx. 3, Appx. 4に記した。

3.2 物性試験

(1) 物性試験用試料の選定

追加試錐4本から採取し日本に搬入した111ヶの試料のなかから試錐柱状図(Appx. 1)を検討の上、物性試験用試料43ヶを選定した。

物性試験用試料として、D-Areaに位置する2.18孔のHalite-Aより4ヶ、Halite-Bより5ヶを選定した。同様にD-Areaに位置する2.19孔のHalite-Aより5ヶ、Halite-Bより4ヶを選定した。S-Areaに属する2.20孔からはHalite-Aより6ヶ、又S-Areaに位

Table 3.1 Details of Components by Chemical Analysis

	Number of Samples	Main Component										Trace Component										Total			
		H ₂ O	I.M	Cl	SO ₄	Ca	Mg	K	Na	NaCl	Total	Cd	Cr	Hg	Fe	Cu	Zn	Pb	As	V	Mn		Br	Total	
Additional Drilling	2.18	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	480
	2.19	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	650
	2.20	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	510
	2.21	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	630
Total	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	2,270
Previous Drilling	1.3	10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	60
	1.6	10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	60
	2.2	10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	60
	2.5	10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	60
	2.9	10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	60
Total	50	-	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	300
Total	260	210	210	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	2,570

置する 2.21 孔からは Halite-A より 19 ヶの試料を選定した。(4.1.(2)参照)

選定された 4.3 ヶの試料の内 4 ヶをクリーブ試験用試験片に供した。2.20 孔から採取された試料からクリーブ試験用試験片を作成しようとしたが、岩芯が脆弱化しており、試験片とはならなかった。

試料採取位置と Halite 層の関係を Table 3.2 に示す。又 Fig. 3.1 に柱状図との関係を示す。選定した試料毎の深度を Table 3.3 に示す。

(2) 試験片の作成法

a. 一軸圧縮試験、円板圧裂試験片の作成法

2.18, 2.19, 2.20 孔から得られた試料は、端面整形の際表面が破壊したり、弱面が生じたりするのを防ぐ為に、先ずテープでシーリングしたあと、カッターにより所定の長さで切断した。切断したあとテープを外し、約 60℃ の定温乾燥炉に入れ、測定作業実施時まで保存した。

2.21 孔の試験片は小型コア採取機を用いて再サンプリングした。再サンプリングには潤滑剤として軽油を用い、直径は 5.0 mm である。本試料のみ再サンプリングした理由は、試験片の端面平行度を 0.1 mm 以内に納めること、横変位測定時の Cantilever の接着がしやすいことという、二つの理由からである。

再サンプリングした試験片の端面整形法は、先ず金切鋸で試料を切断したあと、軽油と研磨紙 #400 を用いて平滑にした。

整形された試験片の寸法は Appx. 7 に示す。

b. クリーブ試験用試験片の作成法

クリーブ試験用試験片は、前述した方法と同じく小型コア採取機を用いて再サンプリングした。

試験片にダメージを与えぬように留意し、切断位置を吟味したため試験片の寸法比(高さ/直径)を同一にすることは出来なかった。端面の平行度は 0.1 mm 以下である。

c. 試験片の個数

物性試験用に作成した試験片の個数を Table 3.4 に示す。

(3) 測定

a. 測定項目

物性試験は次の 8 項目について実施した。

(一軸圧縮試験)

1. 圧縮強度測定 (Sc: Compression strength)

Table 3.2 Samples Classified by Halite Beds

Name of drill hole & stratum		Samples for Uniaxial compression and Brazilian tests	Samples for creep test	Total
D-area	2.18	Halite-A	-	4
		Halite-B	1	5
	2.19	Halite-A	1	5
		Halite-B	-	4
S-area	2.20	Halite-A	-	6
		Halite-A	2	19
	Total	39	4	43

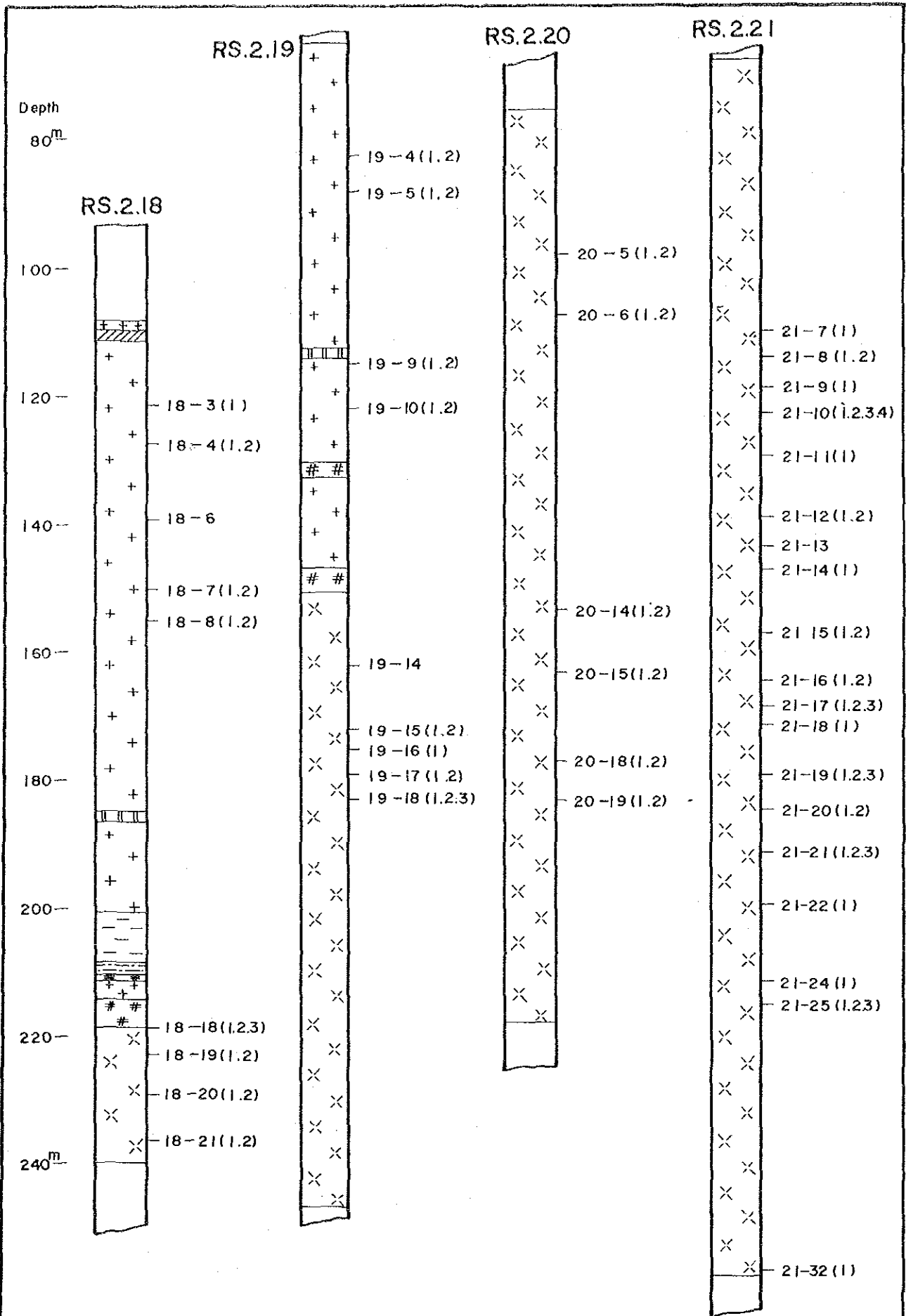


Fig.3-1 Sample location of Rock Mechanics Test

(for log legend see Fig.4-2)

() shows sub number of test pieces

Table 3.3 Depths of Sampling Site

Sample No. for Rock Mech. Test	Depth from Surface	Sample No. of Rock Mech. Test	Depth from Surface
	(m) (m)		(m) (m)
18 - 3	121.70 - 122.00	20 - 18	176.83 - 177.16
4	127.82 - 128.14	19	183.11 - 183.43
6	139.63 - 139.95	21 - 7	110.38 - 110.65
7	150.00 - 150.33	8	114.64 - 114.95
8	155.30 - 155.61	9	119.70 - 120.00
18	218.96 - 219.32	10	123.33 - 123.65
19	222.90 - 223.25	11	129.20 - 129.54
20	228.55 - 228.88	12	139.23 - 139.53
21	236.01 - 236.35	13	144.70 - 145.00
19 - 4	83.13 - 83.44	14	147.59 - 147.92
5	88.02 - 88.33	15	157.20 - 157.50
9	115.00 (±)	16	164.14 - 164.46
10	122.00 (±)	17	168.11 - 168.45
14	161.62 - 161.97	18	171.50 - 171.83
15	171.55 - 171.85	19	179.47 - 179.80
16	174.72 - 175.05	20	184.50 - 184.90
17	179.49 - 179.82	21	191.23 - 191.70
18	182.95 - 183.25	22	199.75 - 200.05
20 - 5	98.87 - 99.15	24	211.75 - 212.10
6	107.89 - 108.21	25	214.13 - 214.47
14	153.81 - 154.13	32	256.40 - 256.72
15	163.40 - 163.70		

Table 3.4 Numbers of Test Pieces Classified by Tests

Drill hole	For Uniaxial compression test, incl. P-wave velocity	For Brazilian test incl. Shore hardness	For Creep test	Total
RS. 2. 18	8	16	1	25
RS. 2. 19	9	14	1	24
RS. 2. 20	6	12	-	18
RS. 2. 21	7	33	2	42
Total	30	75	4	109

2. ヤング率測定 (E : Young's modulus)
3. ポアソン比測定 (ν : Poisson's ratio)
(円板圧裂試験)
4. 引張強度測定 (St : Tensile strength)
(その他試験)
5. P波速度測定 (V_p : P-wave velocity)
6. 密度測定 (ρ_a : Density)
7. Shore 硬度測定 (Hs : Shore hardness)
(クリープ試験)
8. クリープ係数測定 (E, η : Creep modulus)

b. 測定個数

測定項目毎の測定個数を Table 3.5 に示す。

なお, Appx.7 に測定結果の一覧を示す。

(4) 試験装置と測定方法

a. 一軸圧縮試験 (Fig. 3.2(a)~(h)参照)

Amsler 型 100 t 圧縮試験機 (東京衡機製) を用いて応力, 歪を測定し, 圧縮強度, ヤング率, ポアソン比を求めた。ヤング率, ポアソン比を求める為の軸方向変位測定には LVDT を用い, 直径方向の変位測定には特別の測定用 cantilever を用いるか (径 85 mm の場合), リングゲージ (径 49.4 mm の場合) を用いた。軸方向変位, 直径方向変位, 荷重は X-Y-Y レコーダーにて記録させた。

圧縮強度はピーク強度を測定し, ヤング率は原点付近の接線ヤング率, および 80% ピーク強度に於ける割線ヤング率を求めた。

ポアソン比はヤング率と同様に, 原点付近の接線ポアソン比, および 80% 割線ポアソン比を算出した。

軸歪み速度は 10^{-5} mm/sec のオーダーで実施した。

b. 円板圧裂試験 (Fig. 3.2(i)参照)

円板圧裂試験は Amsler 型 20 t 万能試験機 (東京衡機製) を用いた。破壊荷重から弾性理論解により引張強度を求めた。

c. P波速度測定 (Fig. 3.2(k), (l))

超音波速度測定器 (理研電子 KK 製) を用い, オシロスコープ画像より P波速度を測定した。

Table 3.5 Numbers of Measurements

Item	Sc	E	ν	VP	St	ρ_a	Hs	E ₂₇	Total
Drill hole									
RS. 2. 18	8	8	8	8	16	25	7	1	81
RS. 2. 19	9	9	9	9	14	24	7	1	82
RS. 2. 20	6	6	6	6	12	18	8	-	62
RS. 2. 21	7	7	7	7	33	9	4	2	76
Total	30	30	30	30	75	76	26	4	301

d. 密度測定

整形された試料を乾燥炉に入れ、乾燥状態における単位体積当りの重量を求め密度とした。

e. Shore 硬度測定 (Fig. 3. 2(j)参照)

Shore C 型硬さ試験機を使用した。

f. クリーブ試験 (Fig. 3. 2(m), (n), (o)参照)

5 t 岩石圧縮クリーブ試験機 (東京衡機製) を用いた。18-6, 19-14 の試験片については 80% の応力レベルで試験し, 21-11, 21-13 の試験片については約 30% の応力レベルで試験した。

試験に要した時間は以下の通りである。

試験片番号	所要時間
18-6	7,206 分
19-14	6,860 分
21-11	18,435 分
21-13	28,620 分

荷重測定はロードセルにて直接、試験片にかかる荷重を計測した。軸方向歪は rock salt の粒径が大きく、ゲージによる測定が不可能なため LVDT を用いた。計測系の出力は動的ストレインメーターを経て、UCAM-8B 万能デジタル測定器 (共和電機製) で記録させた。同時に X-Y-Y レコーダーにより時間-歪-応力曲線も補足として出力させた。

試験片の吸湿を防ぐ為に室温は 20°C に保った。

(5) 測定結果

a. 一軸圧縮試験, P 波速度測定, 密度測定結果

一軸圧縮試験より得られた圧縮強度 (S_c), 接線ヤング率 (E_{tan}), 80% 割線ヤング率 ($E_{80\%sec}$), 接線ポアソン比 (ν_{tan}), 80% 割線ポアソン比 ($\nu_{80\%sec}$) と P 波速度 (V_p) ならびに密度 (ρ_a) を Table 3. 6 に示す。

又, 代表的な応力-歪線図を Fig. 3. 3 に示す。

b. Shore 硬度測定結果

Halite A 層, Halite B 層, Anhydrite を含むバンド (4.3(1) b 参照) について測定した結果を Table 3. 7 に示す。

c. 円板圧裂試験結果

円板圧裂試験の結果を Table 3. 8 に示す。

d. クリープ試験結果

試験結果は Table 3.9 に示し、時間-歪線図を Fig. 3.4(a)~(d) に示す。

(6) 補遺一三軸圧縮試験

既述した物性試験の外に封圧下に於ける変形挙動、強度特性を調べる為に封圧圧縮試験を追加実施した。

(a) 試験片作成法

試験片の作成方法は、3.2(2)a で述べてある方法と同じである。

(b) 測定 (Fig. 3.2(p)~(r)参照)

封圧試験に先立ち、試験片の寸法、P波速度、密度を測定した。封圧試験では 20 Kg/cm^2 、 30 Kg/cm^2 、 50 Kg/cm^2 、 70 Kg/cm^2 の4種類について実施し、軸方向変位、荷重を測定した。

(c) 試験装置と測定方法

封圧試験のベッセルは東京衡機製 250 Kg/cm^2 のものを使用し、試験機は Amsler 型 100 t 油圧試験機を用いた。周圧をかける為の油が試験片に混入するのを防ぐ目的で、試験片を二重のゴムチューブにて被覆した。

変形特性を求める為の軸方向変位測定は、既述したような LVDT を用いた。同様に直径方向の変位測定はリングゲージを用いた他、実験途中ノギスでも測定した。

周圧荷重は、ベッセル内で測定出来るように特別のロードセルを製作した。

軸方向変位、荷重の2出力は従来通り動的ストレインアンプで増幅し、X-Yレコーダ-に記録させた。

実験中の軸歪速度のオーダーは 10^{-5} mm/sec 程度である。

(d) 試験結果

Table 3.10 に封圧試験の結果を示す。

又、代表的な応力-歪線図を Fig. 3.5(a)(b) に示す。

Table 3.6 Results of Uniaxial Compression Test, P-wave Velocity and Density Measurement

Test Piece Number	Test Piece Dimension		Density ρ_a	P-wave Velocity V_p	Compressive Strength S_c	Young's Modulus		Poisson's Ratio		Remarks
	Diameter	Length				E tan	E 80% sec	ν tan	ν 80% sec	
18 - 3	(mm)	(mm)	(g/cm ³)	(x 10 ³ m/sec)	(kg/cm ²)	(x 10 ³ kg/cm ²)	(x 10 ³ kg/cm ²)			
4	85.20	176.0	2.2	4.5	297	45.8	11.4	0.28	0.54	Halite B in D Area
7	85.15	175.2	2.2	4.4	315	34.4	12.9	0.33	0.57	Halite B in D Area
8	85.00	177.0	2.2	4.2	338	53.9	12.8	0.27	0.69	Halite B in D Area
18	85.00	174.5	2.2	4.4	343	41.2	10.6	0.32	0.57	Halite B in D Area
19	84.80	165.3	2.2	3.7	298	36.5	10.0	0.24	0.87	Halite A in D Area
20	85.20	177.2	2.2	3.8	320	51.0	9.7	0.40	0.40	Halite A in D Area
21	85.25	176.6	2.2	3.9	286	25.3	11.0	0.19	0.81	Halite A in D Area
21	85.20	177.5	2.2	3.7	303	20.7	8.7	0.24	0.68	Halite A in D Area
19 - 4	85.00	175.5	2.2	4.0	275	35.9	13.0	0.20	0.79	Halite B in D Area
5	85.00	175.5	2.2	3.7	284	28.6	8.9	0.44	0.72	Halite B in D Area
9	85.10	177.4	2.2	4.2	293	53.2	16.6	0.15	0.61	Halite B in D Area
10	85.00	175.2	2.2	4.1	261	59.7	16.3	0.23	0.67	Halite B in D Area
15	85.30	176.2	2.2	3.9	280	25.7	10.6	0.22	0.67	Halite A in D Area
16	85.20	137.9	2.2	3.4	303	27.6	9.7	0.26	0.72	Halite A in D Area
17-1	85.00	127.0	2.2	3.8	295	14.9	9.4	-	-	Halite A in D Area
17-2	85.00	166.5	2.2	3.7	300	21.3	10.7	0.32	0.73	Halite A in D Area
18	85.20	176.4	2.2	3.8	290	25.1	10.6	0.27	0.57	Halite A in D Area
20 - 5	85.00	178.5	2.2	3.9	198	20.3	10.7	0.31	1.00	Halite A in S Area
6	85.00	175.6	2.2	3.6	191	20.0	13.4	0.30	0.95	Halite A in S Area
14	85.20	174.1	2.2	2.7	153	9.3	8.2	0.17	0.73	Halite A in S Area
15	85.30	173.5	2.2	2.2	186	8.0	5.2	0.50	-	Halite A in S Area
18	85.00	173.5	2.1	2.9	240	21.3	10.1	0.23	0.75	Halite A in S Area
19	84.95	174.5	2.2	3.6	245	30.6	13.9	0.16	0.77	Halite A in S Area
21 - 7	49.30	93.7	2.1	2.9	237	16.2	10.4	0.24	0.61	Halite A in S Area
8	49.40	103.9	2.1	N/D	191	8.4	3.8	0.06	0.52	Halite A in S Area
9	49.30	83.2	2.1	N/D	135	6.4	3.3	0.23	0.73	Halite A in S Area
11-1	49.30	90.2	2.1	2.3	200	10.2	5.6	0.36	0.71	Halite A in S Area
24	49.40	77.3	2.1	N/D	247	13.2	6.6	0.32	0.51	Halite A in S Area
25	49.40	102.8	2.1	2.3	265	13.9	7.8	0.09	0.45	Halite A in S Area
32	49.20	97.7	2.1	2.6	254	14.2	8.0	0.17	0.43	Halite A in S Area

N/D: no data

Table 3.7 Results of Shore Hardness Test

Drill hole	Halite-A	Halite-B	Anhydrite band
2-18	9.7 ± 1.2 (80)	10.2 ± 1.3 (60)	} 23 ± 5.5 (20)
2-19	9.6 ± 2.0 (60)	10.1 ± 1.1 (80)	
2-20	10.3 ± 2.0 (80)	-	-
2-21	6.8 ± 1.5 (85)	-	-

Parenthesized figures indicate numbers of measurements.

Table 3.8 Results of Brazilian Test

Test Piece No.	Diameter D	Length L	Density ρ_a	Fracture Load P	Tensile Strength St	Test Piece No.	Diameter D	Length L	Density ρ_a	Fracture Load P	Tensile Strength St
	(mm)	(mm)	(g/cm ³)	(kg)	(kg/cm ²)		(mm)	(mm)	(g/cm ³)	(kg)	(kg/cm ²)
18- 3-1	85.0	45.8	2.2	1,089	17.8	20-15-2	85.0	47.0	2.1	880	14.0
4-1	85.2	45.4	2.2	1,213	20.0	18-1	85.0	42.0	2.2	910	16.2
4-2	85.2	45.9	2.2	1,031	16.8	18-2	85.0	41.0	2.2	1,183	21.6
7-1	85.2	41.5	2.2	1,394	25.1	19-1	85.0	46.8	2.2	1,100	17.6
7-2	85.2	47.0	2.2	1,148	18.3	19-2	85.0	44.6	2.2	1,036	17.4
8-1	85.1	46.6	2.2	1,100	17.8	21- 7-1	49.4	33.2	--	356	13.8
8-2	85.2	45.0	2.3	1,729	28.7	8-1	49.4	29.7	--	278	12.1
18-1	85.3	47.0	2.2	1,210	19.2	8-2	49.4	34.2	--	196	7.4
18-2	85.3	44.8	2.2	1,108	18.5	10-1	49.3	25.9	--	285	14.2
18-3	85.3	48.9	2.0	1,022	15.6	10-2	49.3	25.3	--	224	11.2
19-1	85.3	47.9	2.2	1,313	20.5	10-3	49.3	29.7	--	326	14.2
19-2	85.3	41.1	2.2	1,169	21.2	10.4	49.3	27.5	--	394	18.5
20-1	85.1	44.9	2.2	1,163	19.4	11-1	49.3	31.3	--	198	8.2
20-2	85.3	44.7	2.2	1,255	21.0	12	49.3	31.2	--	254	10.5
21-1	85.1	44.0	2.2	1,180	20.1	13	49.4	41.2	--	265	8.3
21-2	85.3	45.0	2.2	800	13.3	14	49.3	35.3	--	346	12.7
19- 4-1	85.0	44.6	2.2	710	11.9	15-1	49.4	28.0	--	217	10.0
4-2	85.3	44.8	2.2	1,174	19.6	15-2	49.4	38.4	--	290	9.7
5-1	85.2	44.1	2.2	1,480	25.1	16-1	49.4	32.0	--	326	13.1
5-2	85.1	50.7	2.2	1,333	19.7	16-2	49.4	27.3	--	292	13.8
9-1	85.2	44.1	2.1	1,354	22.9	17-1	49.4	26.7	--	229	11.1
9-2	85.1	44.7	2.3	1,080	18.1	17-2	49.4	31.4	--	286	11.7
10-1	85.2	44.7	2.2	1,502	25.1	17-3	49.4	33.9	--	190	7.2
10-2	85.1	44.0	2.2	1,458	24.8	18	49.4	42.0	--	402	12.3
15-1	85.2	44.6	2.2	1,122	18.8	19-1	49.4	23.2	--	154	8.6
15-2	85.2	46.1	2.2	1,100	17.8	19-2	49.4	30.9	--	214	8.9
16-1	85.2	49.8	2.0	825	12.4	19-3	49.4	24.4	--	250	13.2
18-1	85.1	44.3	2.2	892	15.1	20-1	49.4	32.2	--	346	13.8
18-2	85.1	47.1	2.2	972	15.4	20-2	49.4	34.8	--	368	13.6
18-3	85.3	45.2	2.1	1,109	18.3	21-1	49.4	43.4	--	532	15.8
						21-2	49.4	29.0	--	146	6.5
20- 5-1	84.8	44.4	2.3	654	11.1	21-3	49.4	20.0	--	106	6.8
5-2	85.0	47.4	2.2	984	15.5	22	49.4	34.0	--	235	8.9
6-1	85.0	43.5	2.1	534	10.9	24-1	49.4	31.3	--	359	14.8
6-2	85.0	44.1	2.2	760	12.9	25-1	49.3	42.3	--	367	11.2
14-1	85.5	45.3	2.1	640	10.5	25-2	49.4	32.2	--	372	14.9
14-2	84.5	47.0	2.2	672	10.8	25-3	29.4	38.4	--	382	12.8
15-1	85.0	46.7	2.2	770	12.3	32-1	49.3	32.9	--	346	13.6

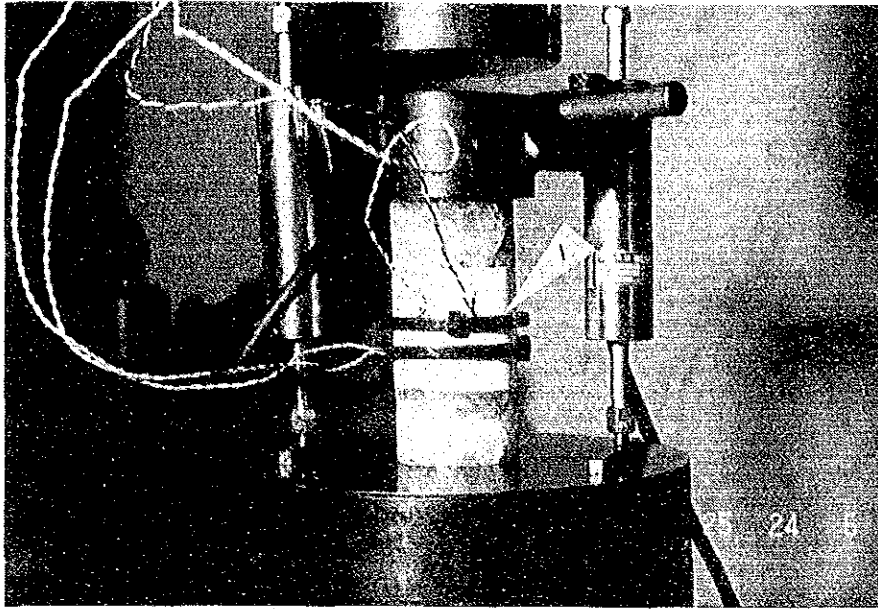
Table 3.9 Results of Creep Test

Test Piece No.	Diameter D (mm)	Length L (mm)	Weight W (g)	Density ρ_c (g/cm ³)	Stress Level σ_c (kg/cm ²)	Lheological Model	Modulus of Visco-elasticity						Test Hours (min)
							E ₁ (kg/cm ²)	E ₂ (kg/cm ²)	E ₃ (kg/cm ²)	η_1 (kg·min/cm ²)	η_2 (kg·min/cm ²)	η_3 (kg·min/cm ²)	
18 - 6	39.75	89.4	239	2.2	243 ± 1.2 (78%)	1-Maxwell and 1-Voigt	2.51 × 10 ⁴	4.51 × 10 ⁴	-	2.39 × 10 ⁴	8.70 × 10 ⁶	-	7,206
19 - 14	39.75	71.7	184	2.1	227 ± 1.3 (79%)	1-Maxwell and 1-Voigt	0.561 × 10 ⁴	1.57 × 10 ⁴	-	4.45 × 10 ³	10.1 × 10 ⁶	-	6,860
21 - 11	49.40	100.75	402	2.1	67.8 (33.9%)	* 1-Maxwell and 2-Voigt	0.559 × 10 ⁴	1.57 × 10 ⁴	8.66 × 10 ⁴	4.47 × 10 ²	1.00 × 10 ⁷	5.04 × 10 ⁶	28,620
21 - 13	49.30	66.55	271	2.1	73.3 (37%)	1-Maxwell and 1-Voigt	0.407 × 10 ⁴	6.92 × 10 ⁴	-	1.65 × 10 ⁴	6.17 × 10 ⁶	-	18,435

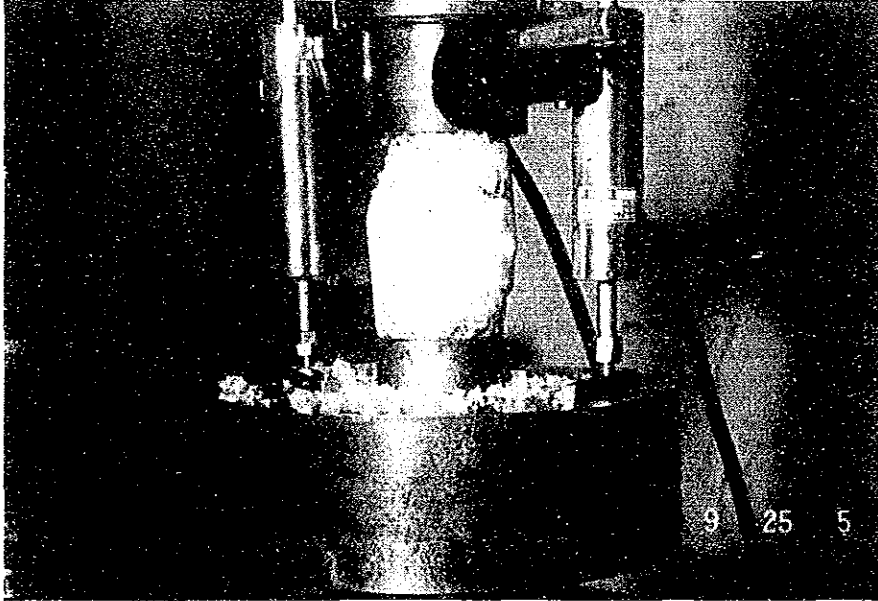
Remark: * See 4.9

Table 3.10 Results of Triaxial Compression Test

Confining pressure σ_3 (kg/cm ²)	No. of test piece	Diameter D (mm)	Length L (mm)	Density ρ_a (g/cm ³)	P-wave velocity V_p (m/sec)	Peak load P (kg)	Axial strain ϵ (%)	Differential stress $\sigma_1 - \sigma_3$ (kg/cm ²)	Strength σ (kg/cm ²)
20	21-10-1	49.30	96.70	2.2	4,200	8,230	7.86	431	451
	21-10-2	49.30	95.60	2.2	2,730	7,710	9.20	404	424
	21-12-1	49.30	99.00	2.2	3,540	8,170	9.09	428	448
	21-15-2	49.30	97.95	2.2	2,800	8,460	11.03	443	463
30	21-7-1	49.30	95.00	2.2	3,800	9,810	14.1	514	544
	21-20-2	49.30	99.00	2.2	3,670	10,800	15.4	566	596
	21-21-2	49.30	104.40	2.2	3,600	9,240	13.2	484	514
50	21-17-1	49.30	99.65	2.1	2,260	11,990	18.2	628	678
	21-18-2	49.30	97.55	2.1	2,440	11,380	18.6	596	646
70	21-14-2	49.30	104.40	2.2	3,730	14,350	25.2	752	822
	21-16-1	49.30	103.40	2.2	3,130	14,250	25.4	747	817



(a) Uniaxial compression test machine.
1. Ring gauge

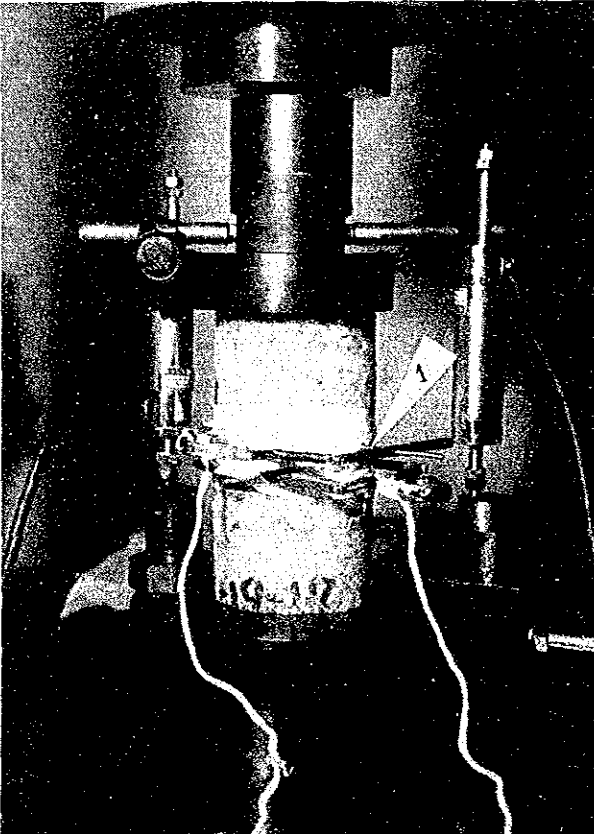


(b) Uniaxial compression test.
Failed test piece.

Fig. 3.2 (a) (b) Photographs Showing Rock Mechanics Tests

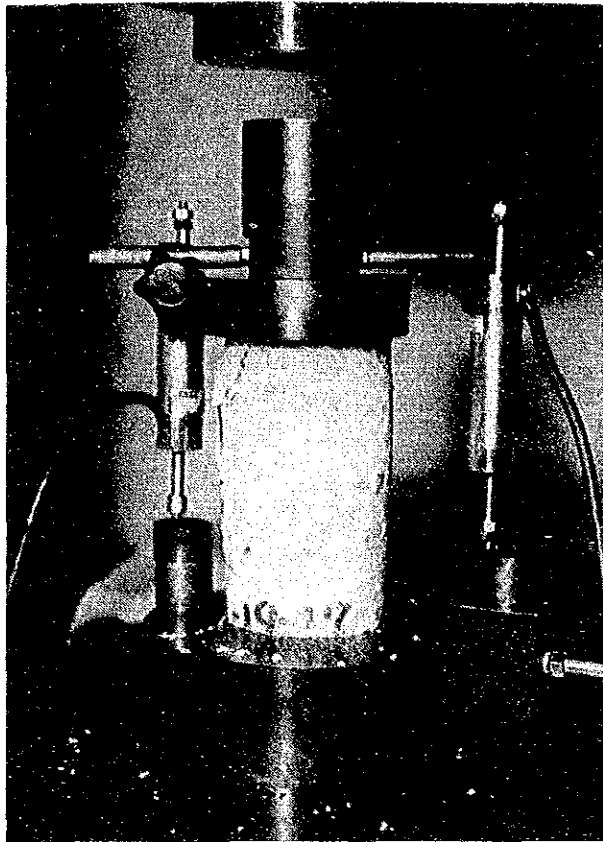


(c) Uniaxial compression test.
Sample before test.

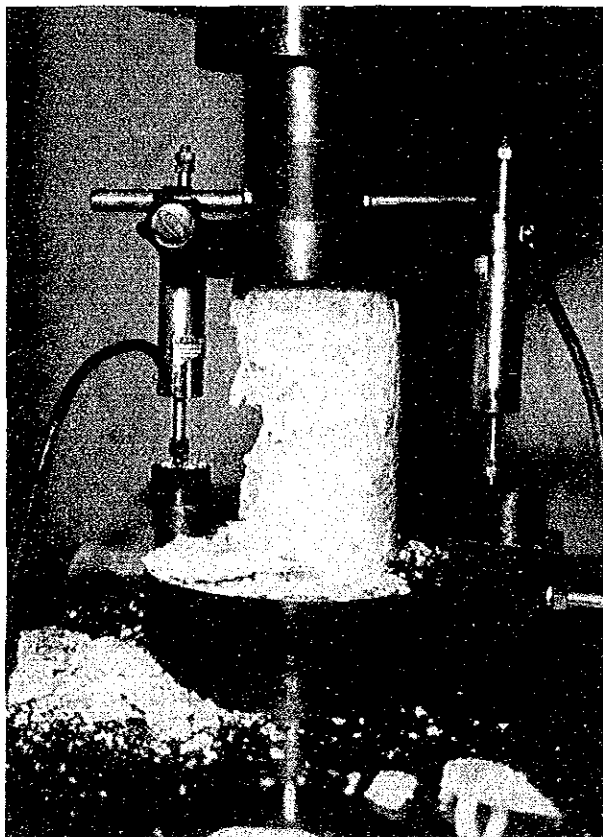


(d) Uniaxial compression test.
Special cantilever to measure radial displacement.

Fig. 3.2 (c) (d) Photographs Showing Rock Mechanics Tests

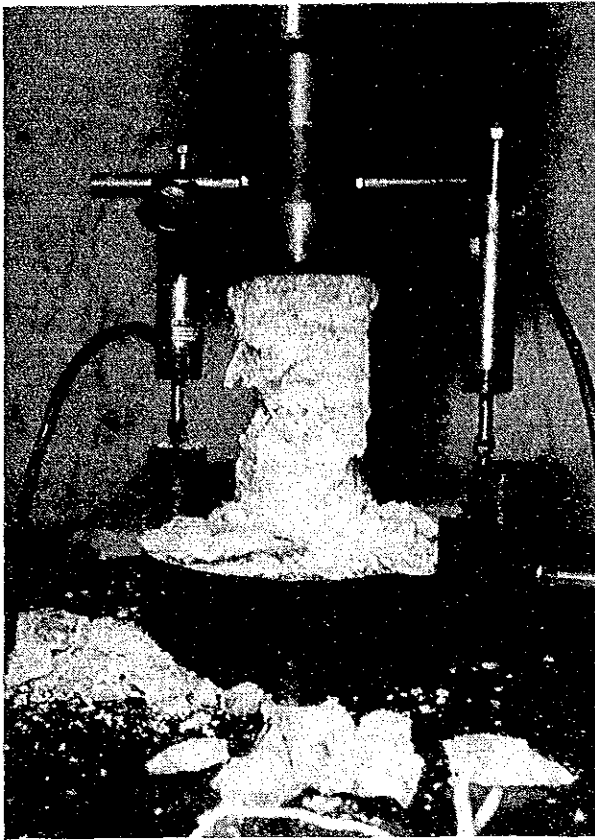


(e) Uniaxial compression test.
Fracture process (1).

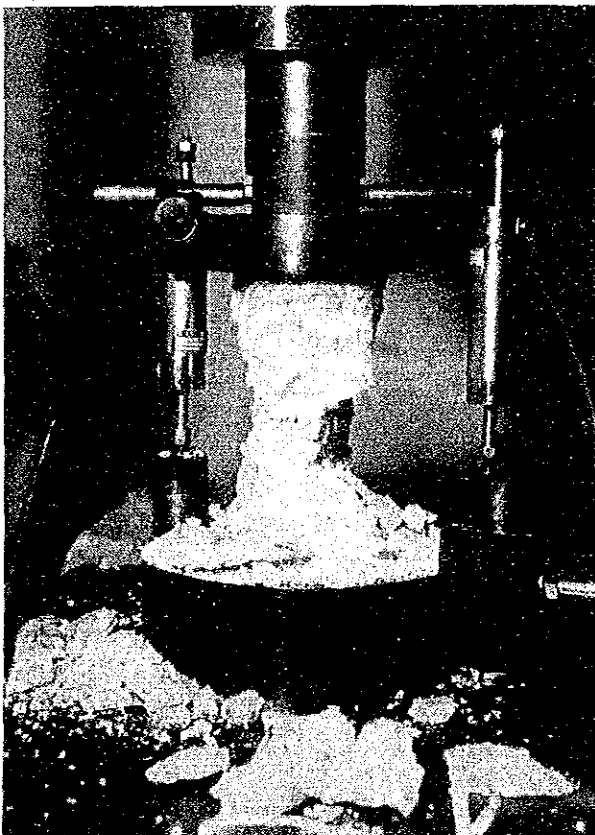


(f) Uniaxial compression test.
Fracture process (2).

Fig. 3.2 (c) (f) Photographs Showing Rock Mechanics Tests

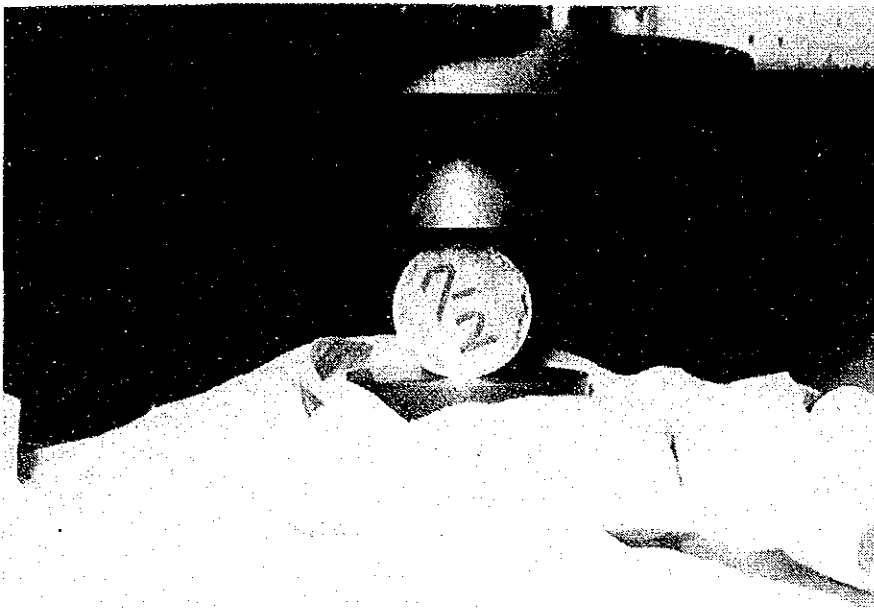


(g) Uniaxial compression test.
Fracture process (3).

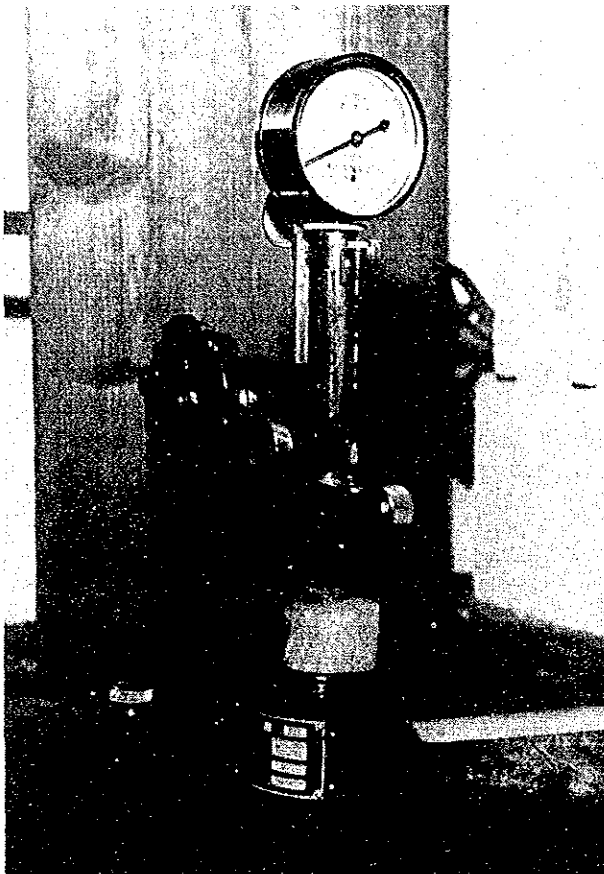


(h) Uniaxial compression test.
Fracture process (4).

Fig. 3.2 (g) (h) Photographs Showing Rock Mechanics Tests

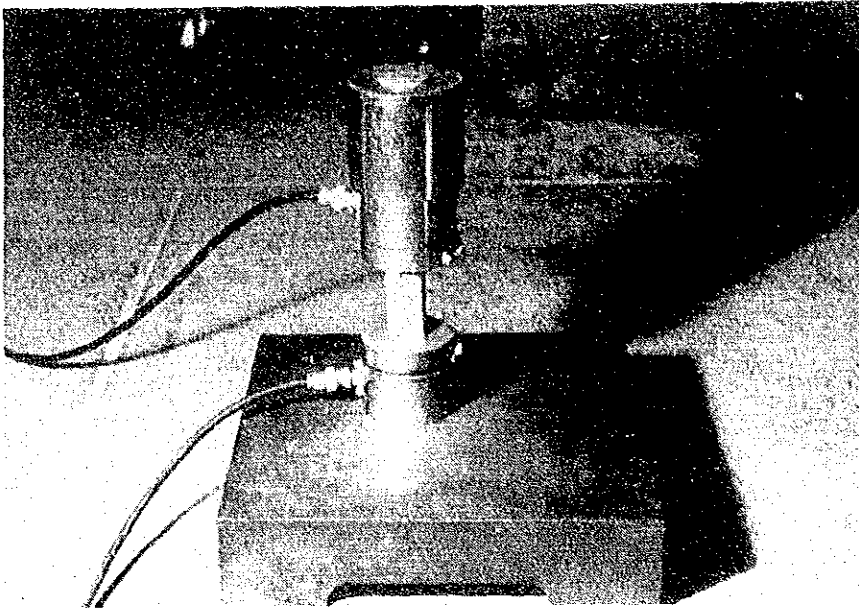


(i) Brazilian test.

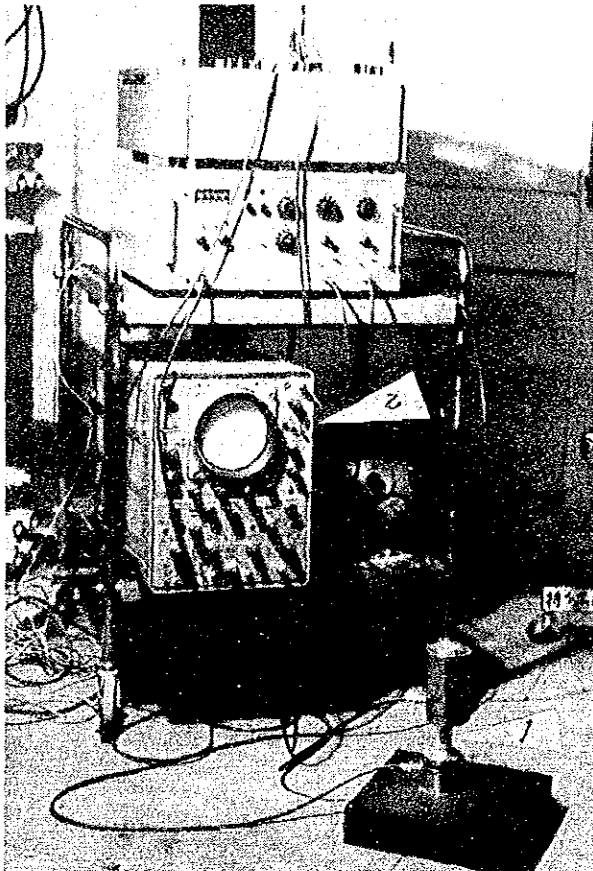


(j) Measurement of shore hardness.

Fig. 3.2 (i) (j) Photographs Showing Rock Mechanics Tests



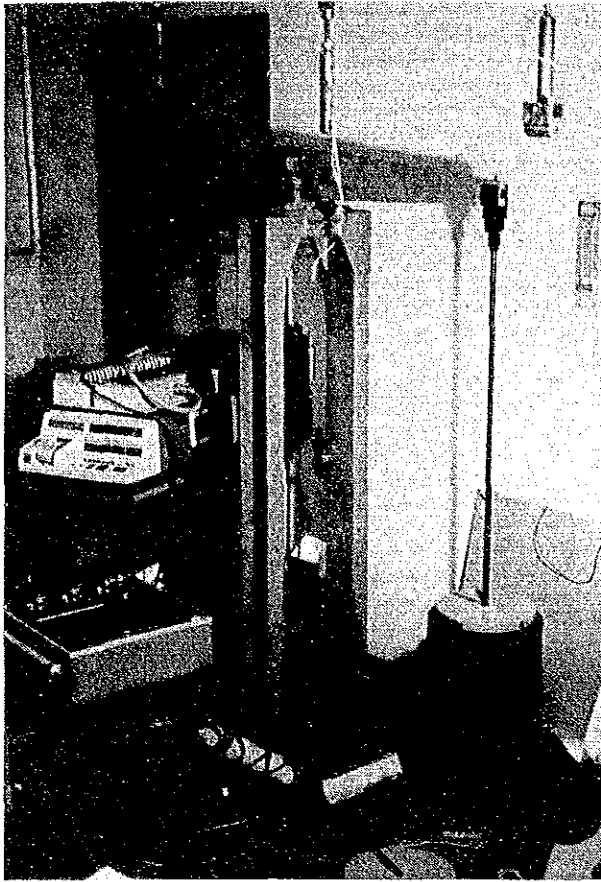
(k) Measurement of P-wave velocity.



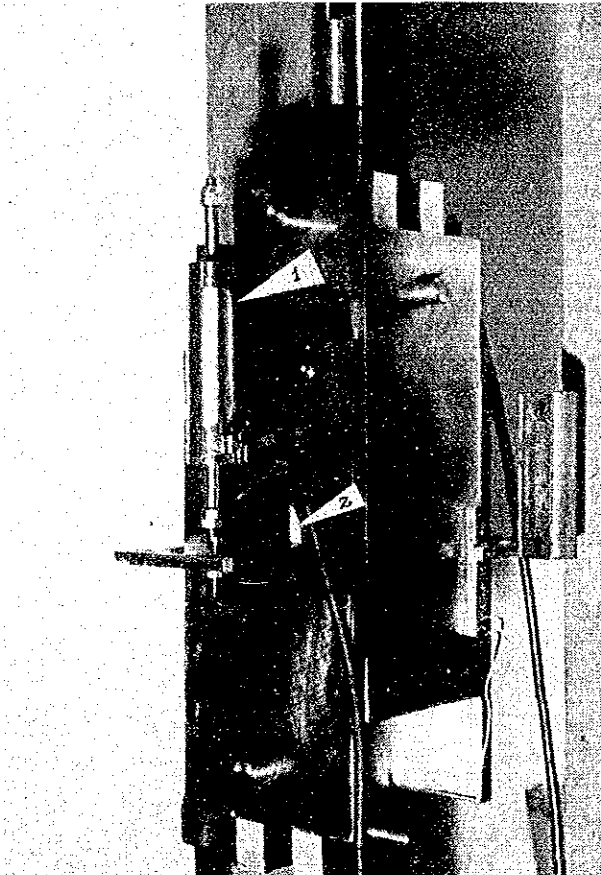
(l) Measurement of P-wave velocity

1. Test piece
2. Oscillograph.

Fig. 3.2 (k) (l) Photographs Showing Rock Mechanics Tests



(m) Creep test.



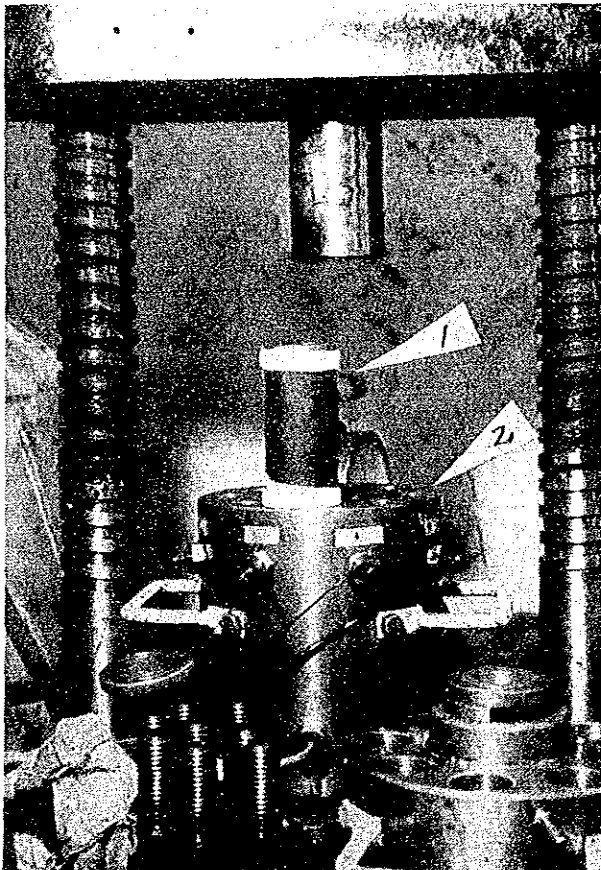
(n) Creep test

1. LVDT
2. Test piece.

Fig. 3.2 (m) (n) Photographs Showing Rock Mechanics Tests



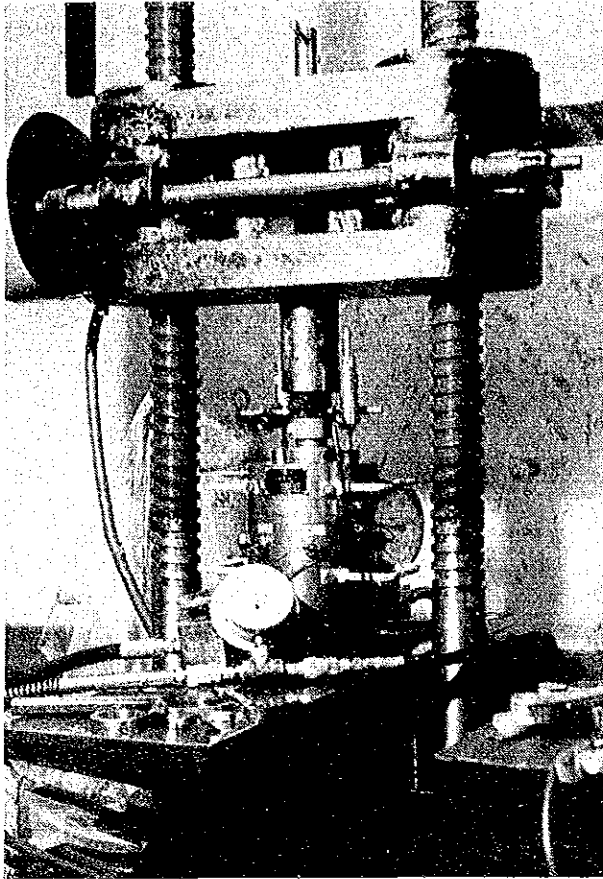
(o) Universal digital recorder.



(p) Triaxial compression test

1. Sample
2. Vessel.

Fig. 3.2 (o) (p) Photographs Showing Rock Mechanics Tests



(q) Triaxial compression test.
Under testing.



(r) Triaxial compression test.
Test piece after and before testing.

Fig. 3.2 (q) (r) Photographs Showing Rock Mechanics Tests

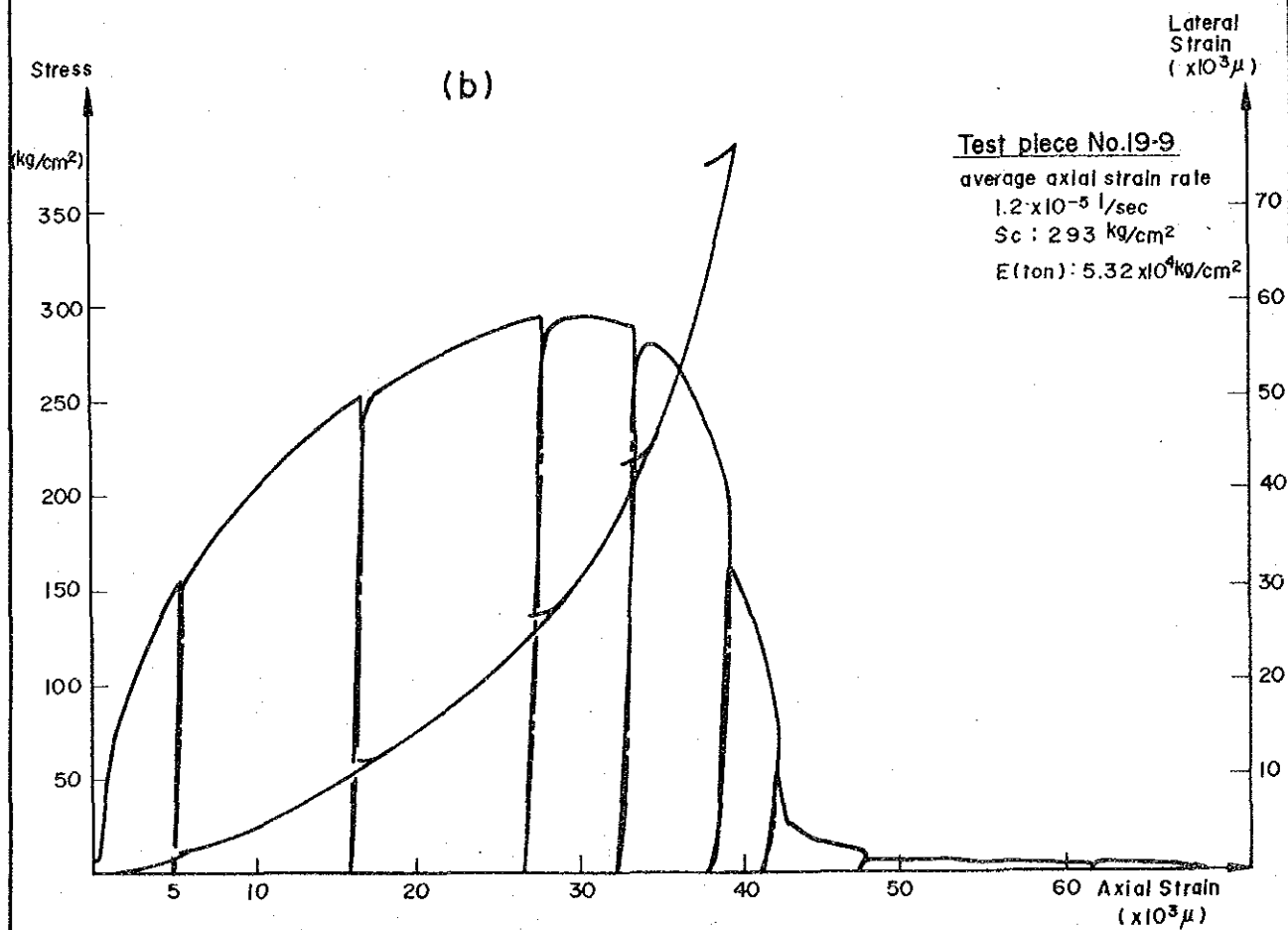
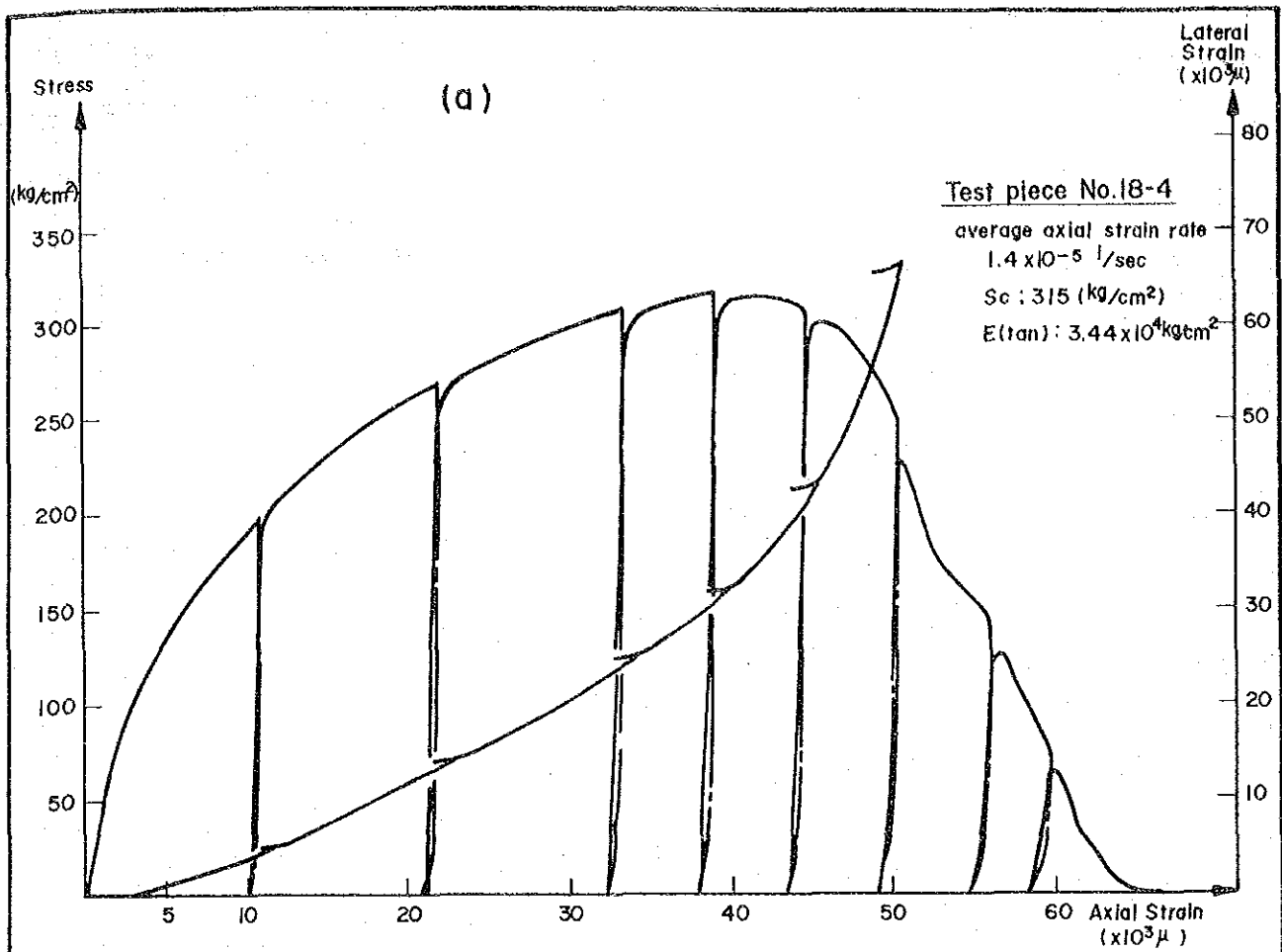


Fig. 3-3 (a),(b) Stress - strain curve

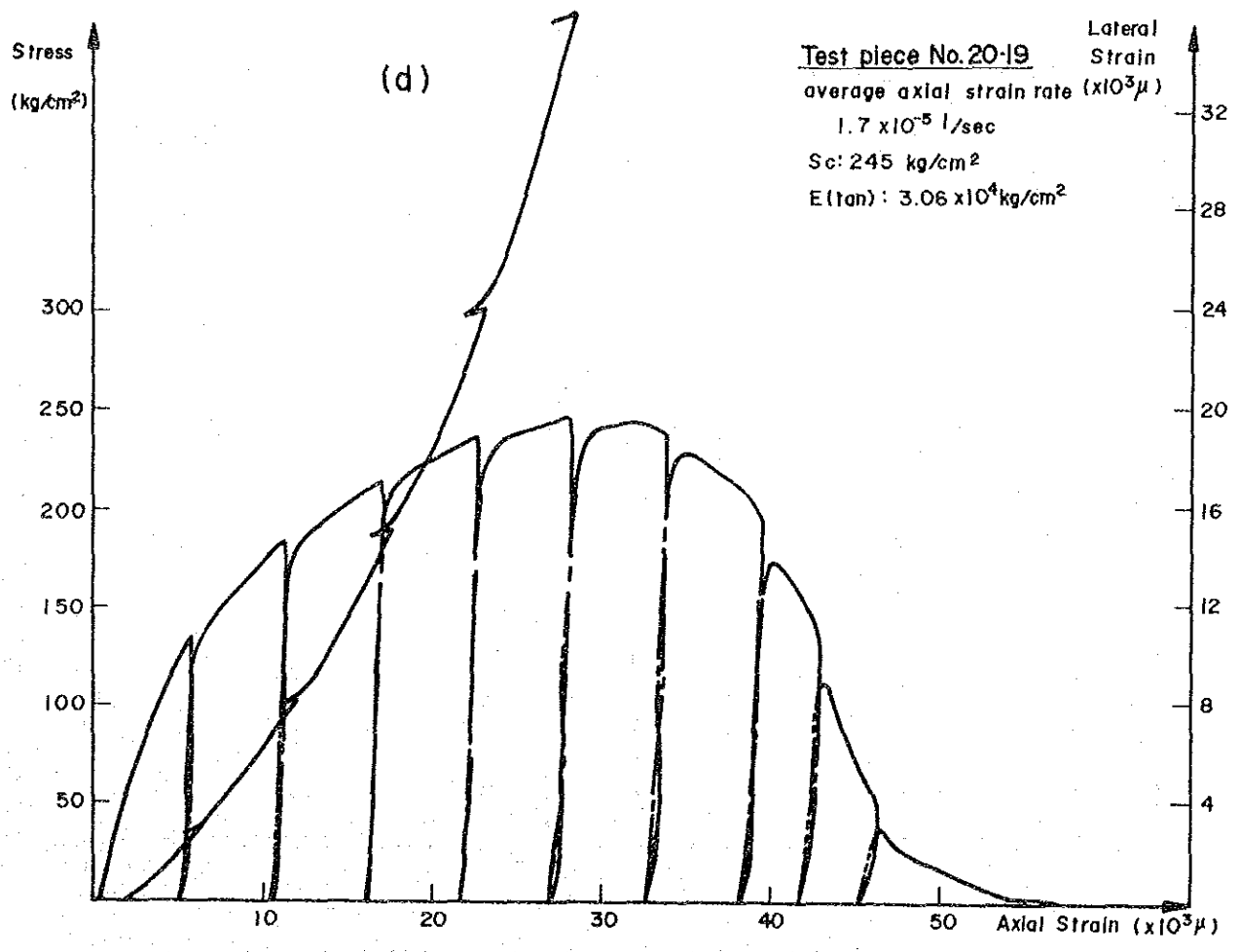
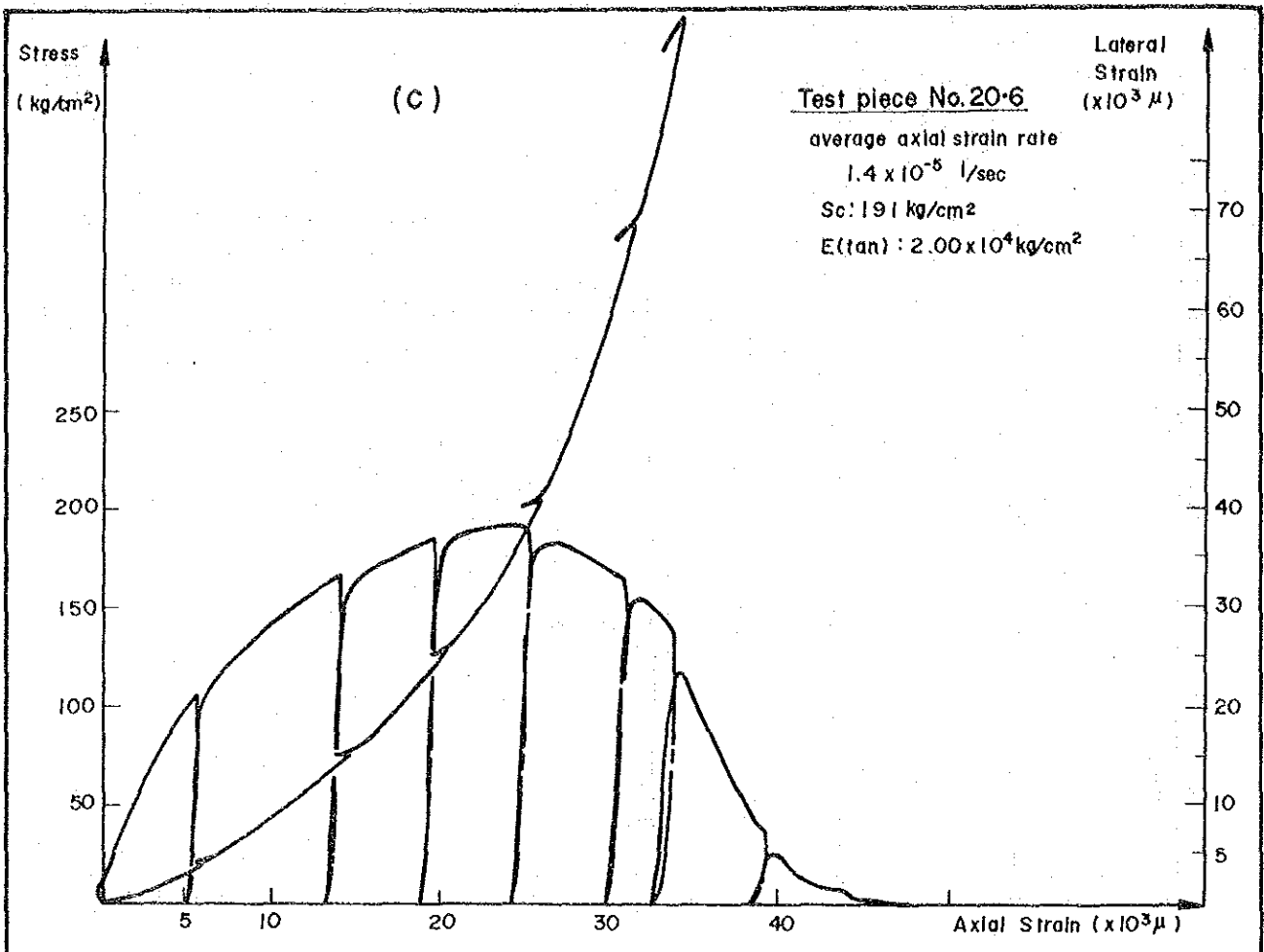


Fig. 3-3 (c),(d) Stress - strain curve

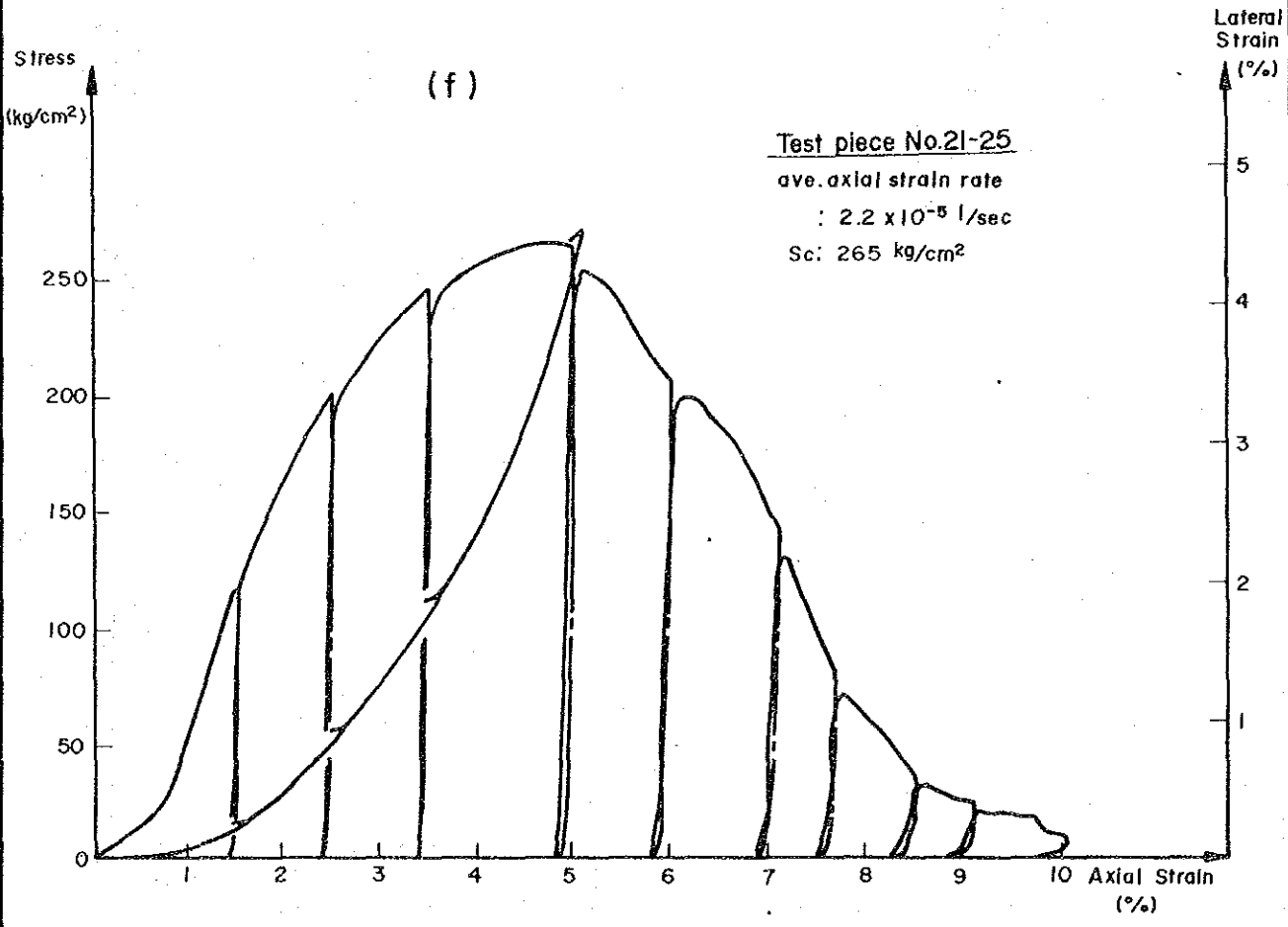
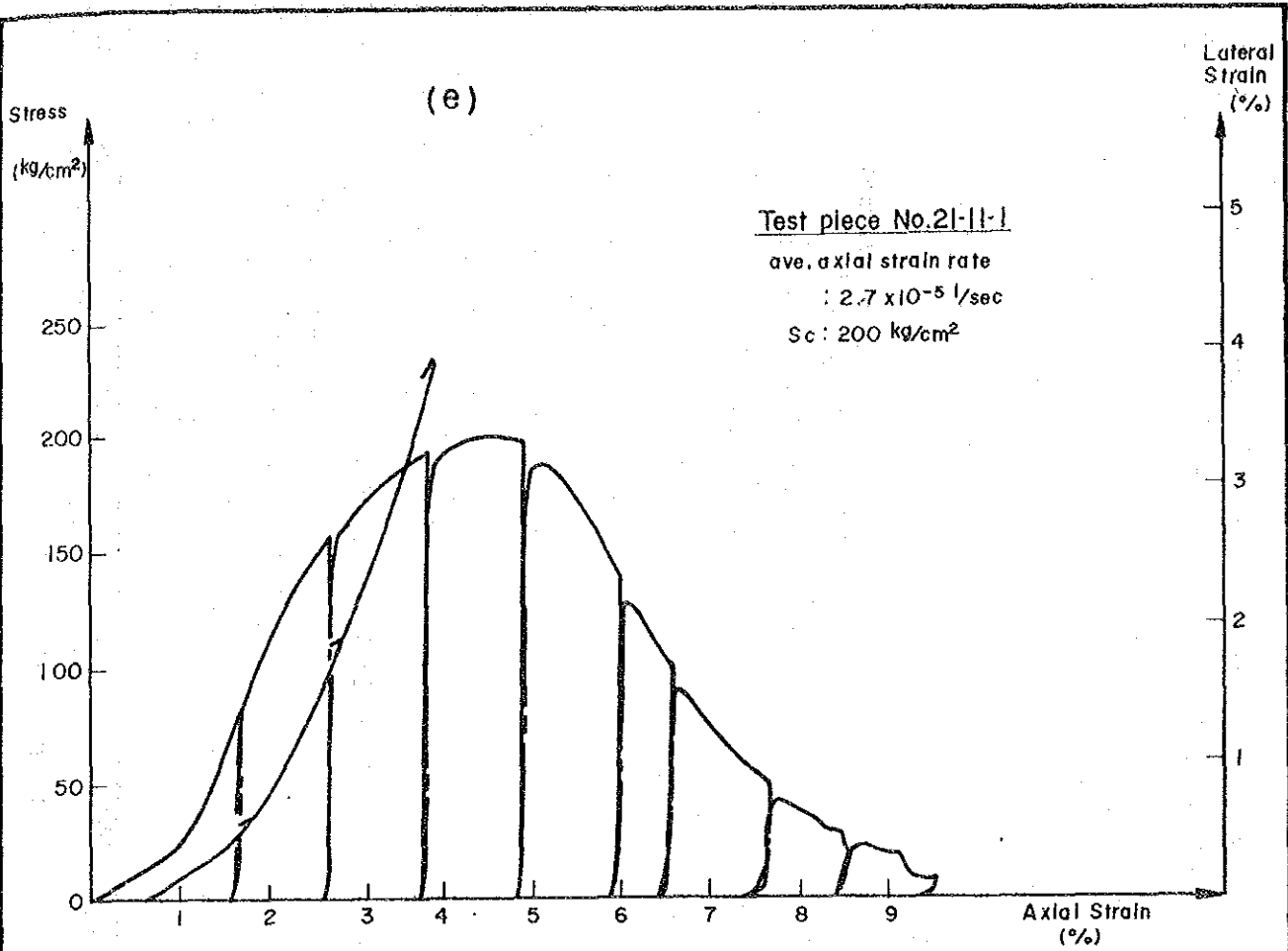


Fig. 3.3 (e),(f) Stress - strain curve

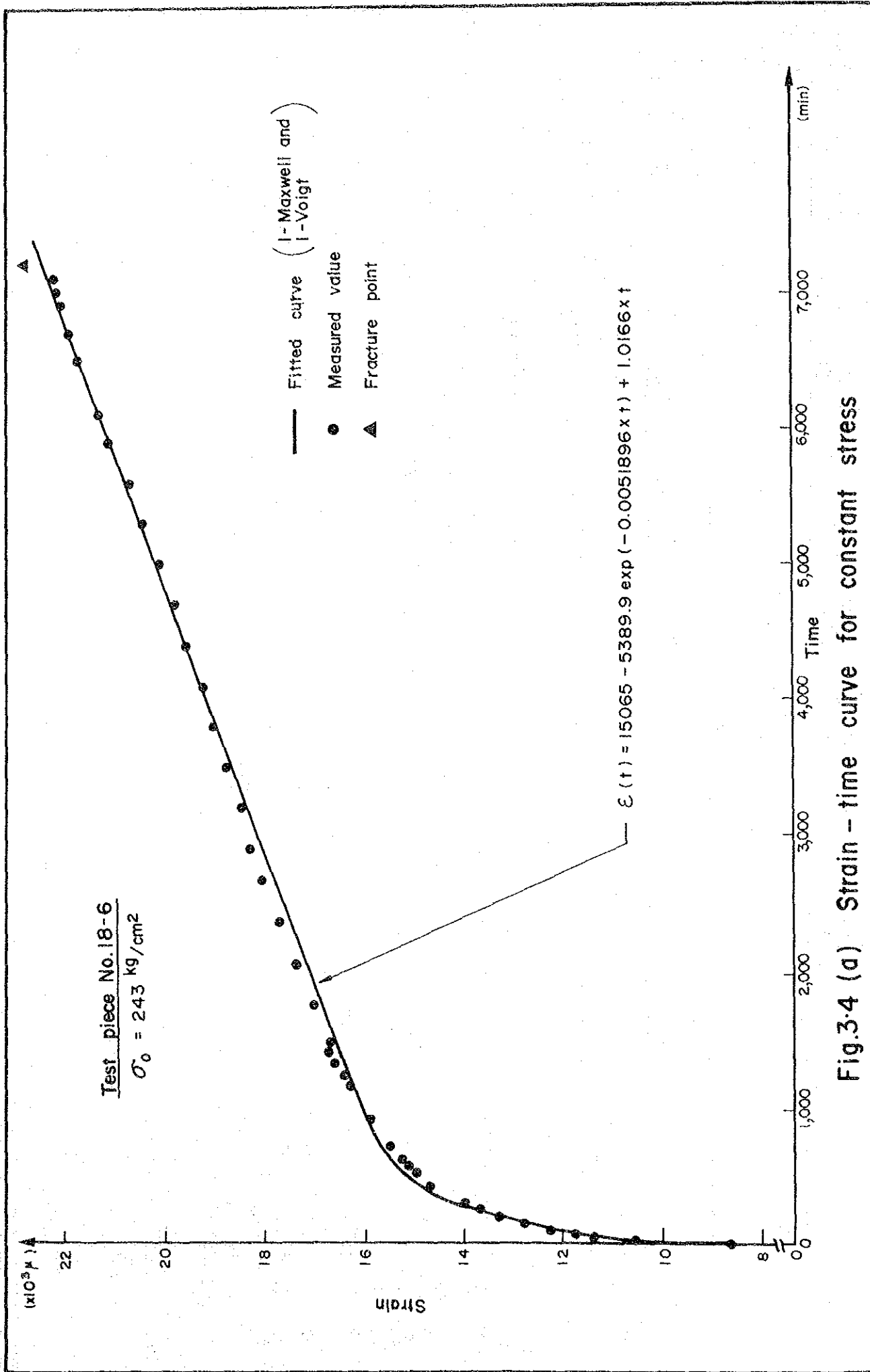


Fig.3.4 (a) Strain - time curve for constant stress

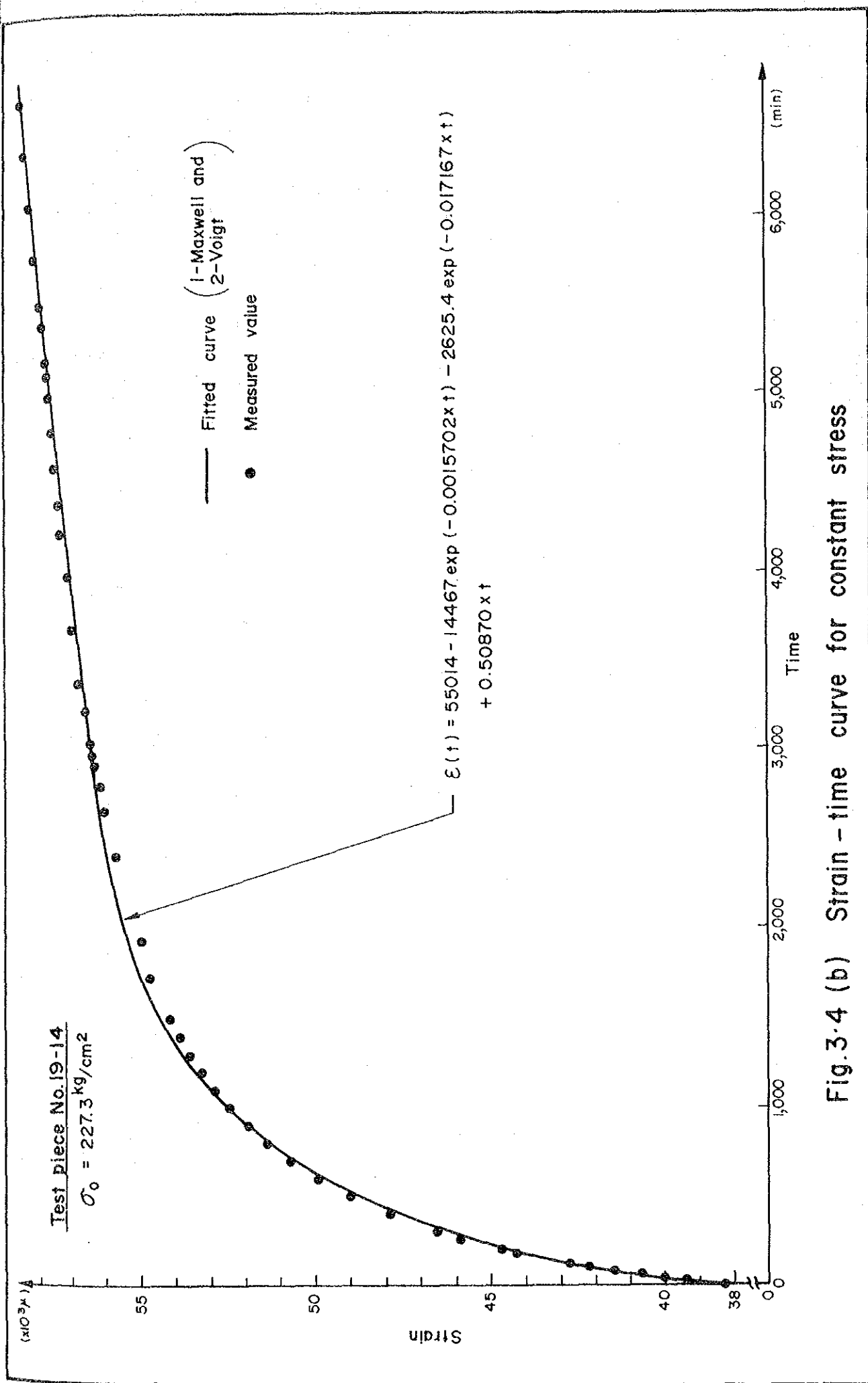
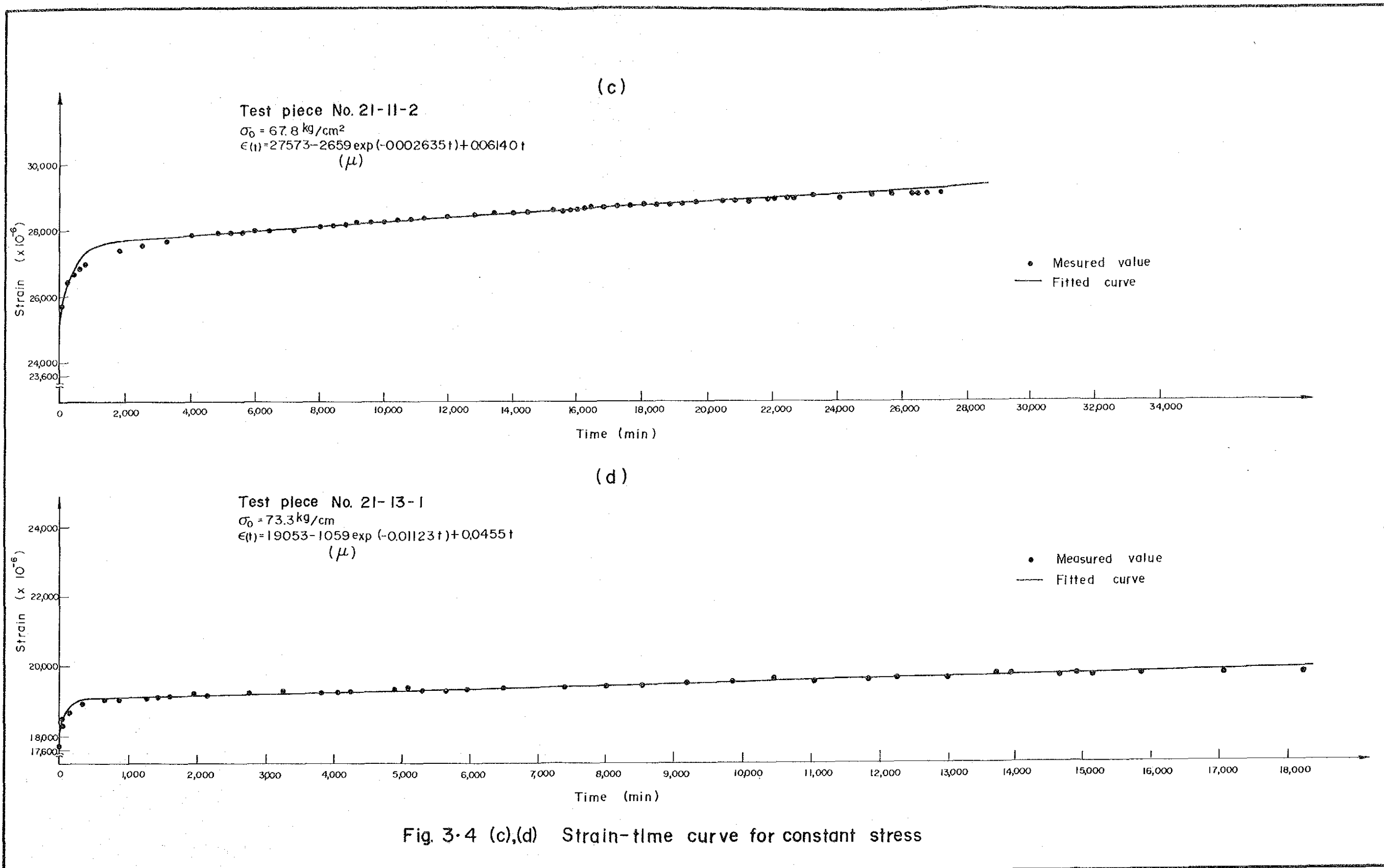


Fig.3.4 (b) Strain - time curve for constant stress



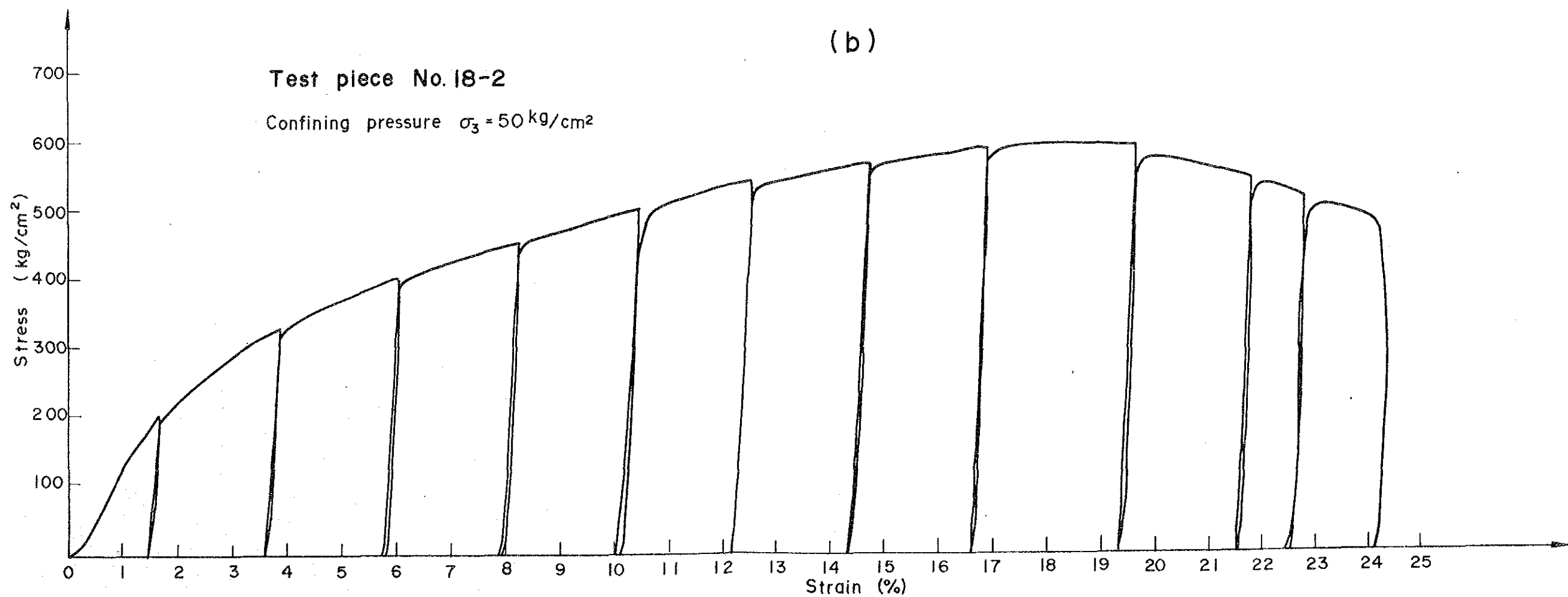
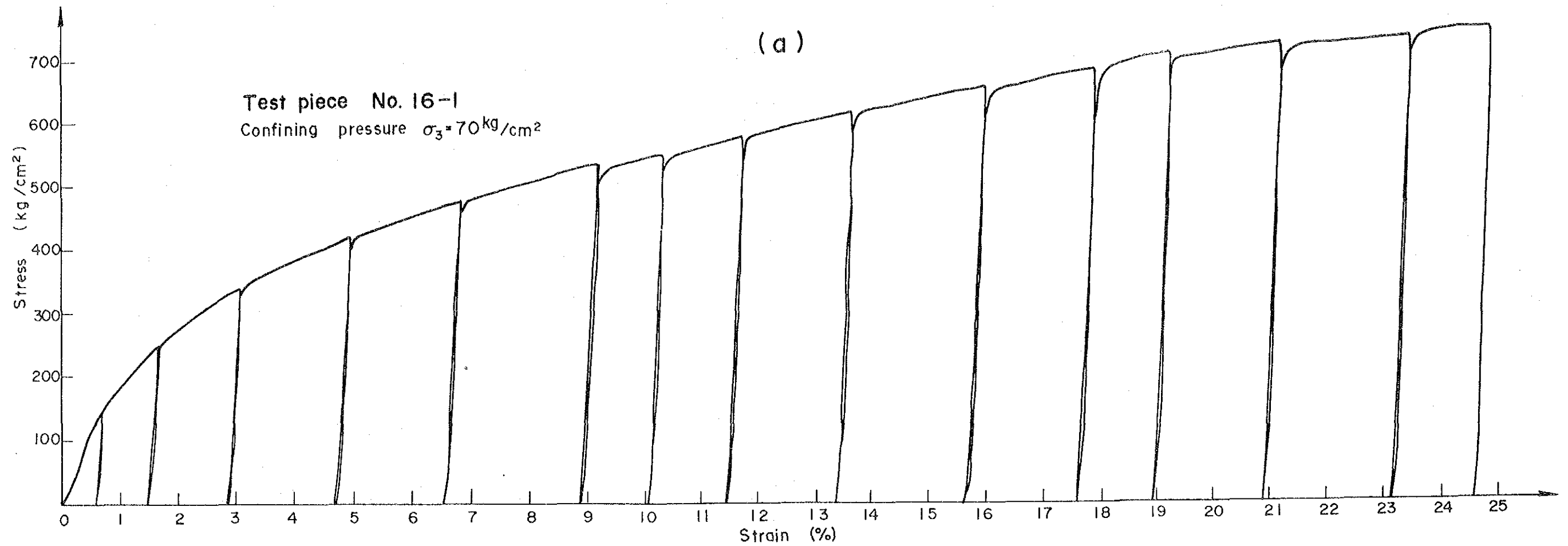


Fig. 3-5 (a),(b) Stress-strain curve of triaxial compression test

