土木研究所資料
No. 46

関門トンネルコンクリート試験報告書

（昭和39年度）

建設省土木研究所

SEKIREI A4 NO. 54

関門トンネルコンクリート試験報告書

1. まえがき

この報告書は昭和39年度に日本道路公団より委託された関門トンネルのコンクリート試験の結果について記述したものである。昭和39年度においても、関門トンネルのセメントモルタル調査を実施し、セメントモルタルの腐蝕は海水によるものであることを明らかにし、トンネル内の湧水の水質分析結果から、湧水は海水であることが明らかになった。昭和39年度の調査では関門トンネルの人道のコンクリートの強度が海水による腐蝕のため低下しているかどうか、コンクリート中における海水の浸透状況はどうであるかを明らかにする目的で本試験を実施した。

2. 試験に用いた供試体

関門トンネルより送付された26本のコアの採取箇所を図一1に圧縮強度試験用供試体、比重測定用供試体、化学分析試料の採取位置を図一2に示す。

コアの状態を観察すると人道床面より採取したNo.1～11までのコアの外観は表面から浅い処で約4cm、深い処で約30cmの位置にモルタル層をはさみコアはこの部分で上、下に離れている。

このモルタル層に関しては仕様説明書「コンクリート及び関門トンネル工事誌(P341)」には「一次覆工側面の漏水止めおよび将来インバート上面に排水溝を設置する必要が生じたとき、処置が困難となるので、仕上り面より18.5cm下げて打設した」に該当するものと思われ、その後排水溝の必要がなくなったので打継いで規定面に仕上げた際の打継ぎ面のモルタル層と推測される。水抜トンネル側壁より採取したNo.12～14のコアは二次覆工(施工昭和33年)と下部コアは一次覆工(昭和14年施工)のものであることがわかる。

これらコアより圧縮強度試験用供試体はつぎの要領により作製した。すなわち人道床面より採取したコアについてはモルタル層を除いて深さの方向に上、中、下の各部から高さ約12cmの供試体をダイヤモンドカッターでそれぞれ採取した。

これらにより成形作製した供試体について比重の測定（1～11-a, 14, 15），圧縮強度試験（全供試体について行った）および圧縮強度試験終了後の供試体の一部（2, 5, 7, 8-a, 14, 16）については化学分析を行った。

3. コンクリートおよびモルタル部の化学分析

昭和37年度に実施した関門トンネルセメントモルタル調査よりセメントモルタルの腐食は海水によるものであることをあきらかにし腐蝕機構について一応の結論を得ている。
又トンネル内湧水は海水であることも自明のように扱っている。

1) 化学分析結果について

圧縮強度測定後の供試体の一部について化学分析を行った結果を表-1に示す。
分析試料としては 2-a, 5-a, 7-a, 8-a, および パイロットトンネル 14, 15 から採取したものである。
Ca, Mg の分析については A.S.T.M C-85 によった。
Cl の分析は微粉砕したモルタル 1～2g を採り蒸溜水に4時以上浸漬加熱し冷却後沪過し、$AgNO_3$ による滴定によった。
コンクリートモルタル部およびセメントモルタル部の CaO, MgO の分析値から CaO/MgO を計算すると 2A～8A については 1.5～3.6% と大巾な変動がみられる。
使用されたポルトラントセメントの CaO 64%, MgO 1.7% とすれば CaO/MgO は 37% 前後である。
パイロットトンネルについてはコンクリート関部が暗緑色を呈し高炉セメントを使用したものと推定される。
CaO/MgO の値は 2A～8A に比べて小さい
A種高炉セメントを使用したものと推定すれば CaO/MgO は 1.7 であり分析値は 1.5～19.0 の間にある。
コンクリートおよびセメントモルタルに使用された細骨材が入手できなかったため細骨材からの Ca, Mg の溶出量の補正ができなかったため定性的な傾向しかつかめなかった。
分析の精度試料の採取方法等を考慮に入れれば CaO/MgO の比が 1.5 の値をもって腐食したものと判定できない。

コンクリートに海水が浸透すればコンクリート中に塩分が濃縮する。この場合浸透拡散方向において塩分濃度は当然差があるものと考えられる。
化学分析により濃度差が求められればそのコンクリートが過去・現在に亘って受けた海水経歴の過程がある程度推測することができるのではないかと考えコンクリート中の塩分について化学分析をおこなった。
次に分析結果について述べると
Cl は 0.012～0.77 %と大きく変動を示した。
仮りに混練に海水を使用したとしても Cl は 0.26%前後でありこれに急結材として塩化カルシウム 1.5%を使用したとしても 0.2%の増加であり、したがって 0.5%前後の Cl 量となる。
Cl は内部に向かって拡散濃縮するものであるがこのように大きく変動を示す原因は不明であるが一つの有力な見方としてコアを採取する際、にトンネル内湧水を使用したのではないかと考える。
コンクリートモルタルの Cl 量とセメントモルタルの Cl 量を比較した場合セメントモルタルは Cl は大きいがコンクリートモルタルでも Cl 量の大きな値を示すものもありこれからどちらが Cl 量が大きいということはいえない。
海水の浸透を受けたコンクリート中の塩分としてはさほど大きな値ではなく鉄筋コンクリートでは重要な問題となるが無筋コンクリートであまり影響はないものと考える。
参考までに海水経歴を受けたコンクリート塩分としては 0.5%前後の値をとるのが普通である。

2) セメントモルタルの海水による腐食機構について昭37年度までに報告されているが参考までに腐食機構の概略について述べてみると海水中の塩化マグネシウム（$MgCl_2$）、硫酸マグネシウム（$MgSO_4$）、硫酸ソーダ（Na_2SO_4）等がセメントの水和硬化にともない生成される消石灰（$Ca(OH)_2$）と次式の如く反応するものと推定される。

$Ca(OH)_2 + MgCl_2 = CaCl_2 + Mg(OH)_2$ (1)
$Ca(OH)_2 + MgSO_4 + 2H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O + Mg(OH)_2$ (2)
$Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 + 2H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O + NaOH$ (3)

(1) 式の反応では生成された $CaCl_2$ は溶出し $Mg(OH)_2$ は不溶であるため沈殿固定される。

(2) および (3) 式で生成される二水石膏 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) は水和セメントの成分である $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ と反応してセメントバチルスが生成されるものと一応推定される。

$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + 3CaSO_4 \cdot 2H_2O + 20H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ (*)

コンクリートとセメントモルタルの海水腐食を比較した場合に腐食機構については全く同様と考えるが耐食性についてはコンクリートとセメントモルタルでは大きな差があるものと考える。
一般にはコンクリートの方が耐食性が大きいと言われている。

4. コンクリートの比重

比重の測定は水浸法とγ線透過法の2通りの方法でおこなった。水浸法では水浸24時間後の比重を測定しγ線透過法では風乾状態の比重を測定した。
測定した比重を表-2, 表-3に、水浸水による測定位置を図-2にγ線透過法による測定位置を図-3に示す。

(1) 2つの測定法により求めた比重の比較

図-4にその関係を示す。γ線透過法により測定した比重が全般的に小さいのは次の理由によると考えられる。

(ロ) 乾燥状態で測定した。

(ハ) コアの直径の実測値は透過X線に対する実効直径より若干大きい。

(ニ) 質量吸収係数(μ/ρ)…附録参照…は実際に測定した値ではなく近似値を使用したが、この値は実際のものより大きすぎた。

(注) 両測定値の比較は測定部位が一致していないので大体一致していると思われる部分の測定値だけをひろい出して比較した。

(2) 実測比重と圧縮強度との関係

図-5にその関係を示す。図からは明瞭な相関関係は認められない。

5. 圧縮強度

圧縮強度試験に用いる供試体は深さの方向に上部中部下部の3種類に分け各部位試体の深さは各コアともなるべく一定にするようにしたが図-2に示すごとくコアの形状が不揃いであるため一定にならず、コア上面より各位試体上面までの深さは、上部位試体は0～約10cm中部位試体は約16～26cm、下部位試体は約36～46cmである。

カッターで切断した位試体は室内で乾燥したのち上下加圧面を研磨で表面仕上げを行ない直ちにJIS A 1107の規定に従って圧縮強度試験を行なった。

この際、JISの規定と異なり水に浸すことなく試験を行った。

圧縮強度試験結果を示すと表-4および表-5のごとくである。なお後述する参考資料にもとずき、推測される材令28日の圧縮強度の大体の平均値を90 kg/cm²に対する強度比も示した。

えられた試験結果を検討するに際しては「関門トンネル工事誌」に記載されている。
表-6, 7, 8 の結果を用いた。
なおこの工事誌よりは水抜トンネルに関して必要な資料は与えられなかった。
表-6, 7 の資料から人道床面コンクリートの材令28日の圧縮強度は、工区によって使用材料、W/C は相違しているが約290 kg/cm² であったことが推測されることは表-8 の結果からも実証される。
表-6 の結果から各深さ別に圧縮強度の平均値、最大値、最小値および変動係数を求めると表-9 のごとくである。
ただしこれら除、上部供試体については No. 1～9 までの中間にモルタル層を有し後日打継いだコンクリートと推測されるものの値についてこれら表-9 の値を求め下層部分と同時に打設したと思われる No. 10, 11 は除外した。
表-9 に示すごとく、人道床面より採取したコアの圧縮強度の変動係数は上、中、下の各部の供試体とも20～24%であるため、信頼限界法により各層の圧縮強度の平均値の比較を行った結果
中部供試体の圧縮強度と下部供試体の圧縮強度では危険率10%で有意の差が認められなかったが、上部供試体の圧縮強度と中部および下部供試体の圧縮強度では危険率10%で有意の差が認められた。
このことは上部コンクリートの強度は中部および下部コンクリートの強度よりも明らかに小さいということである。
一般にコンクリートの強度は、人道床面のように約1mの深さのものを一度に打上る施工の場合は下記に施工方法を考慮しないと、ブリーディングにより表面に強度の小さい層ができる傾向があり前述したごとく上部コンクリートは中・下部コンクリートと同じに打設したのではなく、後日打継いだものであるから、上部コンクリートが中・下部コンクリートより強度が小さいのは、ブリーディングなどの材料分離によるものとはかぎらない

へと推測される。従って上部コンクリートが湧水圧の影響により損傷したんではないかという問題が考えられるが No. 10, 11 の上・中・下の各部を同時に打設したコンクリートの圧縮強度は、必ずしも上部コンクリートの小さい値を示していないので、コンクリート打設は十分材料分離に注意して施工したものと考えられ、湧水圧のための損傷とは考えられない。よって上部コンクリートの強度が中・下部コンクリートより小さいことは、後日打継いだコンクリートの材料および配合が、中・下部のコンクリートの配合(表-6)と相違したんではないかと思われる。

表-9の結果では、中下部コンクリートの平均強度が約260 kg/cm² に対し、前記参考資料による二次覆工コンクリートの平均強度が約290 kg/cm² と約30 kg/cm² の差を生じているが、表-4, 5に示したごとく供試体の成形寸法が不揃いであることおよび変動係数が大きいことから考えると必ずしもコアの強度が低下しているとは思われない。

しかしながら No. 4-6 のコアから採取した供試体の圧縮強度が中部が172 kg/cm², 下部が146 kg/cm² と著しく小さく、しかもこのコア採取位置が断層破砕帯に位置していることから考えて、更に十分な調査が必要ではないかと思われる。

水抜トンネル側壁より採取したコアの平均強度は二次覆工部分が403 kg/cm², 一次覆工部分が301 kg/cm² と約100 kg/cm² の差があるが、変動係数が大きく試料数が少ないことからこれだけの資料からは結果を推測することはできなかった。

図－1

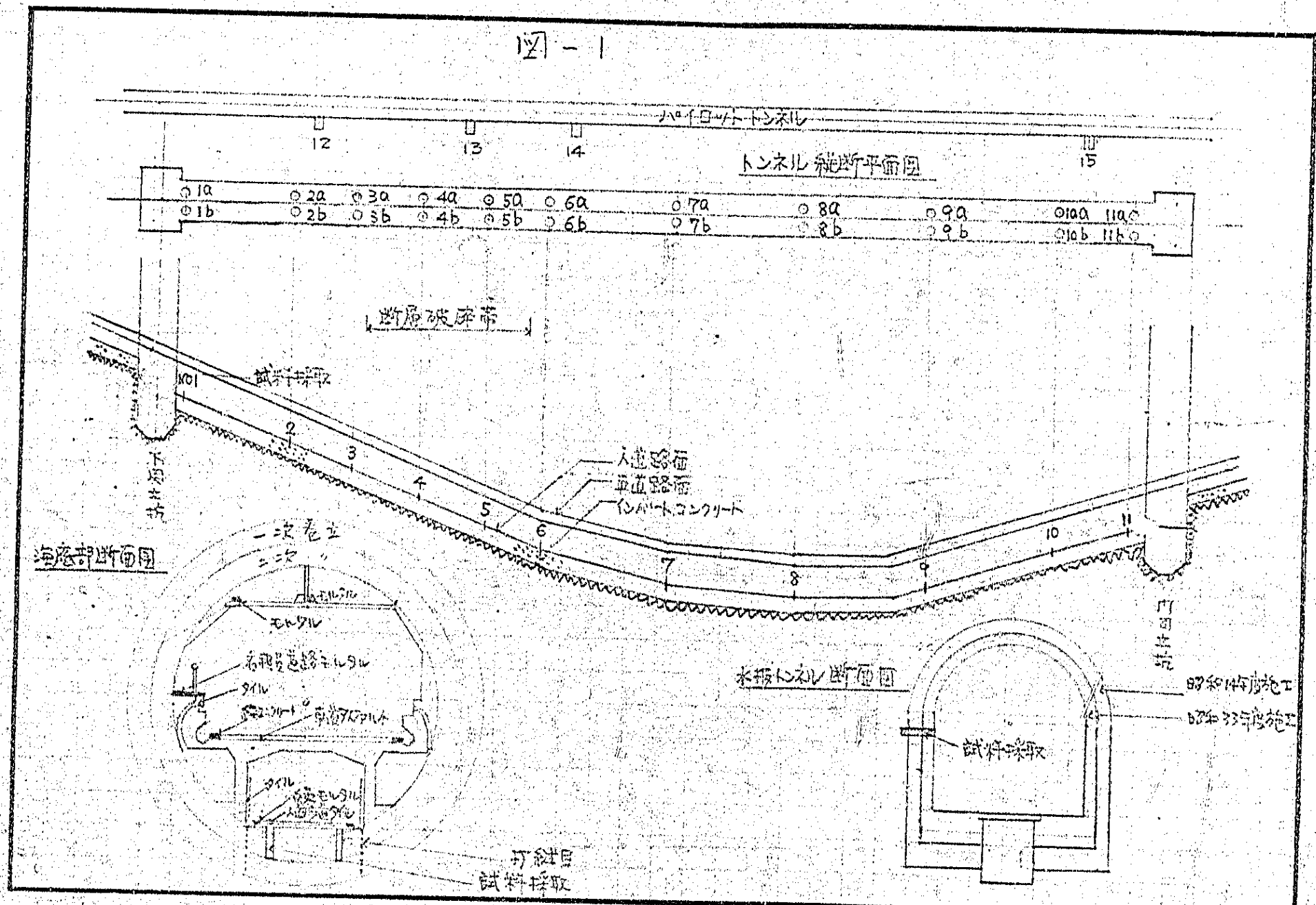
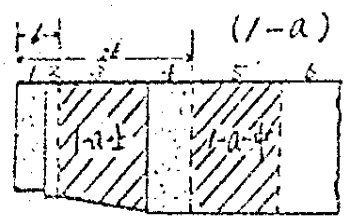
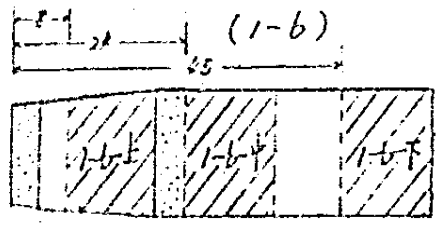
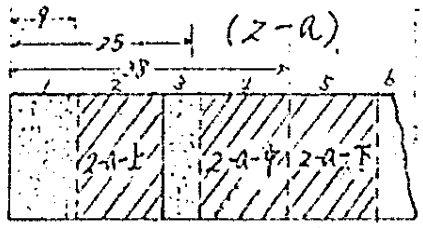
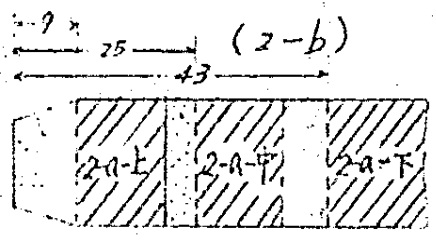

ハイローットトンネル
12
13
14
15
トンネル縦断平面図
1a
1b
2a
2b
3a
3b
4a
4b
5a
5b
6a
6b
7a
7b
8a
8b
9a
9b
10a
10b
11a
11b
断層破砕帯
試料採取
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
人道路面
車道路面
インバートコンクリート
下り坑
上り坑
海底部断面図
一次吹立
二次
モルタル
名神高速モルタル
タイル
コンクリート
防食アスファルト
水抜トンネル断面図
昭和48年度施工
昭和49年度施工
試料採取
可縦目
試料採取

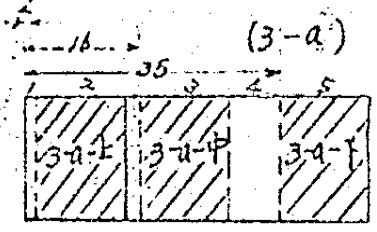
図-2. 関門トンネル人道より採取したコア（その1）

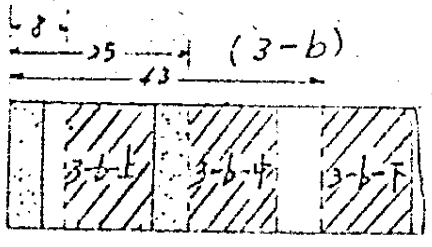


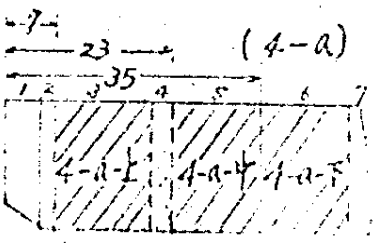


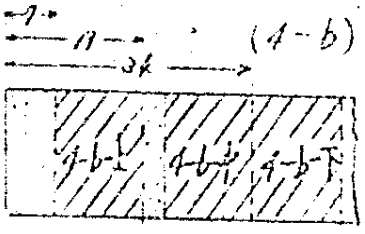


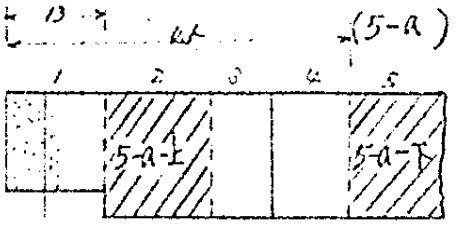


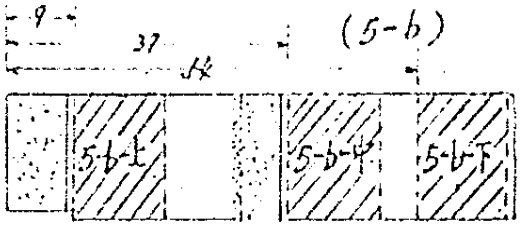


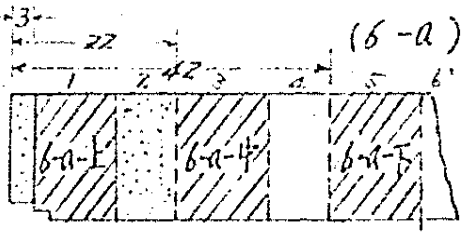


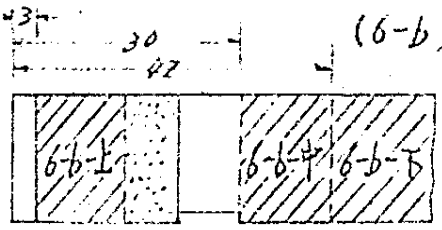


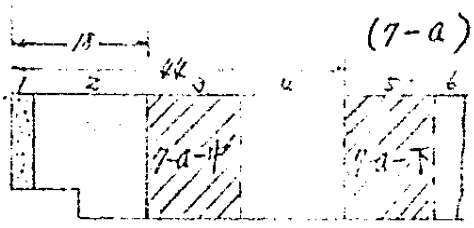


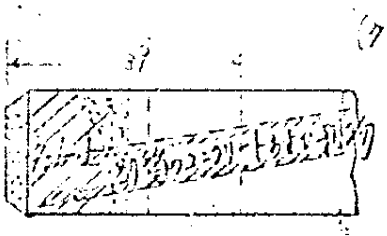


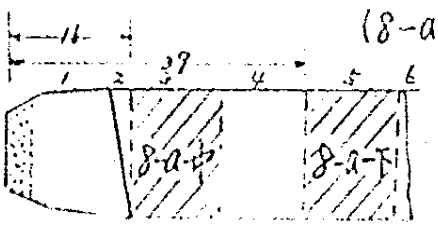


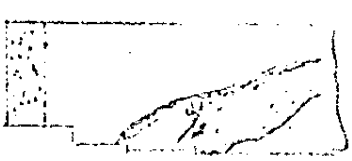






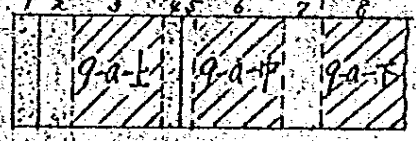




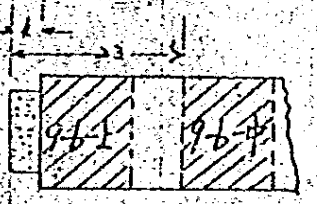


人道より採取したコア（その2）

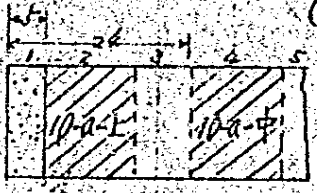
(9-a)



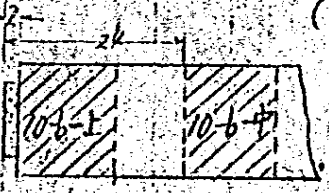
(9-b)



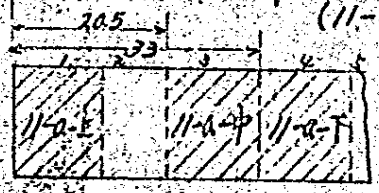
(10-a)



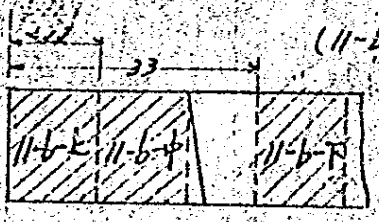
(10-b)



(11-a)

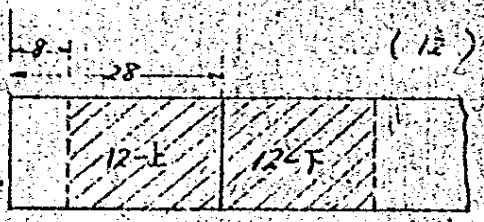


(11-b)

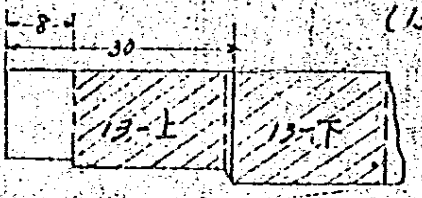


水抜トンネルより採取したコア

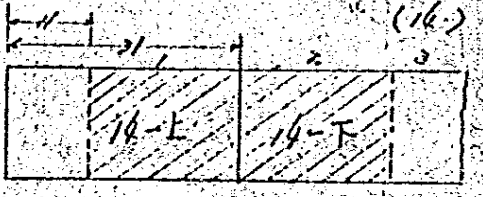
(12)



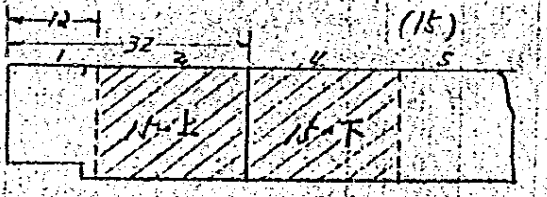
(13)



(14)



(15)



(比重測定用供試体の番号)

凡例

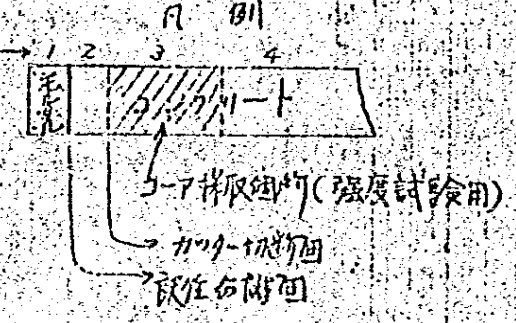
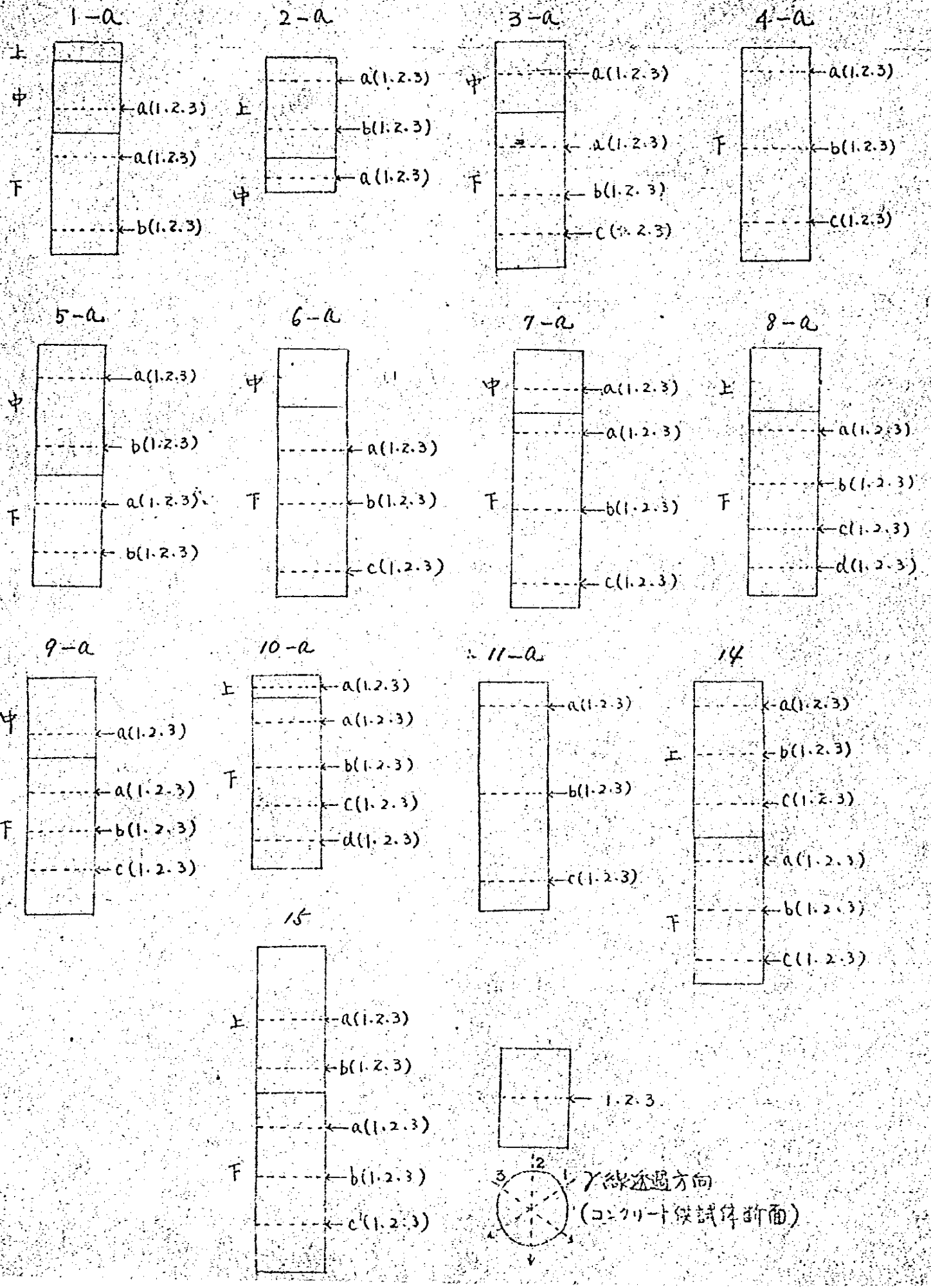
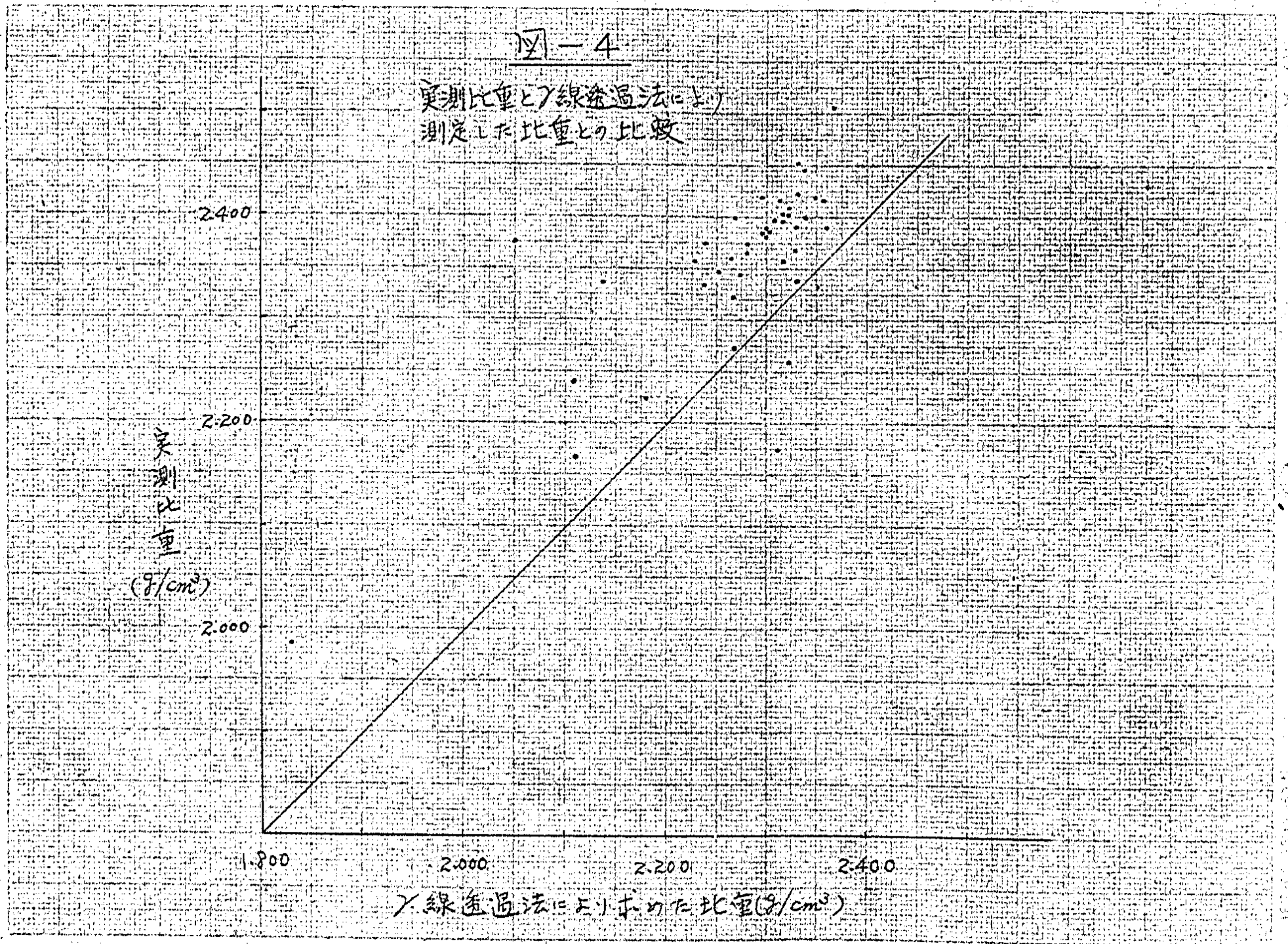


図-3
γ線透過法による測定位置



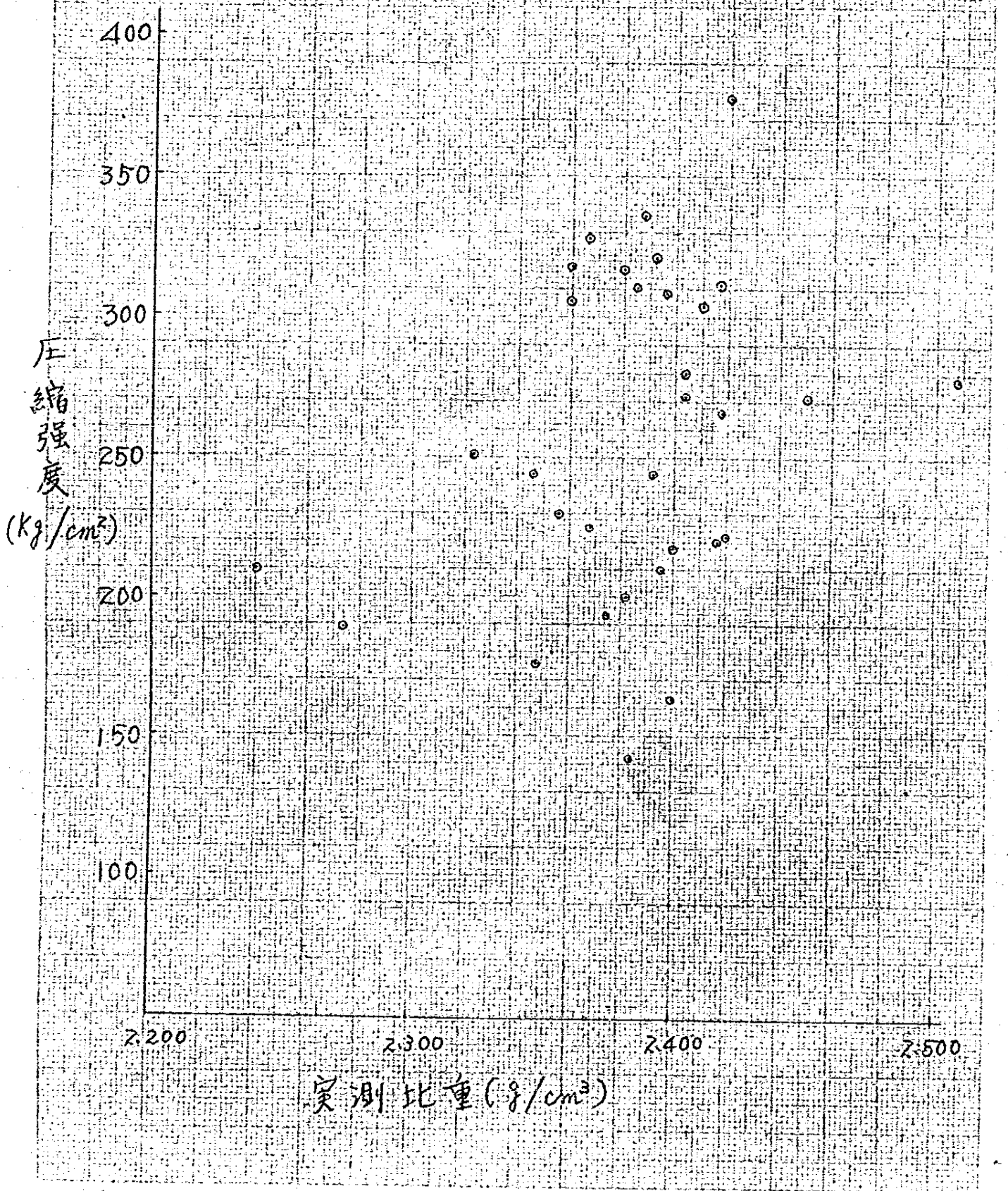
図－4

実測比重とγ線透過法により測定した比重との比較



図－5

比重と圧縮強度との関係



表－1

化学分析結果

分析値 / 試料番号	CaO (%)	MgO (%)	Cl (%)	CaO/MgO	備考	
2－a－1	23.0	0.95	0.118	24.2		ポルトランドセメントの CaO/MgO=36.5%
－3	22.2	0.65	0.155	34.1	モルタル	
－4	25.0	1.18	0.014	21.2		
－5	15.2	0.96	0.010	15.8		
5－a－1	20.9	0.8	0.659	26.1	モルタル	〃 〃
－2	14.4	0.4	0.129	36.0		
－4	23.2	0.8	0.200	29.0		
－6	17.7	0.6	0.082	29.5		
7－a－1	19.7	0.8	0.562	24.6	モルタル	〃 〃
－3	17.9	0.8	0.239	22.4		
－6	19.3	0.6	0.056	32.2		
8－a－1	20.4	1.17	0.378	17.5		〃 〃
－3(上)	18.7	0.95	0.041	19.7		
－6	23.9	0.69	0.494	34.6		
14－1(上)	21.0	2.11	0.082	10.0		高炉セメントの CaO/MgO=17% 〃
－1(下)	14.0	1.78	0.039	7.9		
－3	21.9	1.15	0.784	19.0		
15－1	19.2	1.90	0.079	10.1		〃 〃
－3	12.7	1.72	0.676	7.4		
－5	19.9	1.33	0.861	15.0		

SEKIREI A4 NO.54

表－2

水浸24時間後のコンクリート比重

コア番号	測定位置	比重(g/cm³)	コア番号	測定位置	比重(g/cm³)
1－a	3	2.399	7－a	2	2.377
	4	2.212		3	2.388
	5	2.399		4	2.395
	6	2.475		5	2.417
2－a	1	1.986	8－a	3	2.356
	2	2.274		4	2.224
	3	2.168		5	2.240
	4	2.384	9－a	3	2.382
	5	2417		6	2.368
3－a	2	2.375		7	2.173
	3	2.323		8	2.401
	4	2.340	10－a	2	2.397
	5	2.346		3	2.444
4－a	3	2.451		4	2.418
	5	2.359	11－a	1	2.359
	6	2.396		2	2.362
5－a	2	2.420		3	2.379
	3	2.334		4	2.508
	4	2.375	14	1	2.392
	5	2.404		2	2.348
6－a	1	2.392		3	2.338
	2	2.168	15	2	2.420
	3	2.366		4	2.410
	4	2.226		5	2.423
	5	2.385			

測定位置～図－2参照

表－3

γ線透過法によるコンクリート比重の測定結果

コア番号	測定位置	比重(g/cm³)
1－a(中)	a	2.268
1－a(下)	a	2.182
	b	2.340
2－a(上)	a	1.830
	b	2.269
2－a(下)	a	2.110
3－a(中)	a	2.238
3－a(下)	a	2.268
	b	2.333
	c	2.275
4－a(下)	a	2.328
	b	2.265
	c	2.361
5－a(中)	a	2.296
	b	2.237
5－a(下)	a	2.281
	b	2.324
6－a(下)	a	2.280
	b	2.322
	c	2.296
7－a(中)	a	2.050
7－a(下)	a	2.304
	b	2.309
	c	2.359
8－a(下)	a	2.227
	b	2.181
	c	2.172
	d	2.109
9－a(中)	a	2.300
9－a(下)	a	2.330
	b	2.312
	c	2.319
10－a(下)	a	2.318
	b	2.314
	c	2.339
	d	2.314
11－a	a	2.319
	b	2.300
	c	2.368
14(上)	a	2.331
	b	2.339
	c	2.328
14(下)	a	2.252
	b	2.258
	c	2.137
15(上)	a	2.350
	b	2.330
15(下)	a	2.324
	b	2.352
	c	2.332

- 測定位置 ～ 図-3 参照
- 比重 ～ 3 透過方向の測定値の平均
- コアの状態 ～ 乾燥状態

第-4 直径深度比検討供試体の一覧

種類	番号		粗骨材最大寸法以上の粒径 (cm) 上	中	下	直径 (cm) D 上	中	下	高さ (cm) H 上	中	下	H/D 上	中	下
人造軽骨材	1	a	6	24	—	15.15	15.39	—	12.50	12.33	—	0.825	1.201	—
		b	8	24	45	15.23	15.47	15.89	12.26	11.92	11.65	0.805	0.769	0.746
	2	a	9	25	38	15.18	15.50	15.49	12.11	12.28	11.81	0.780	0.792	0.750
		b	9	25	43	15.32	15.52	15.50	11.95	11.97	11.81	0.780	0.770	0.761
	3	a	2	16	35	15.68	15.70	15.71	12.04	12.26	12.48	0.769	0.781	0.781
		b	8	25	43	15.41	15.45	15.53	12.21	12.10	11.92	0.787	0.777	0.754
	4	a	7	22	35	15.38	15.42	15.46	12.11	11.96	11.91	0.788	0.775	0.771
		b	7	19	34	15.77	15.79	15.86	12.12	11.39	13.81	0.807	0.722	0.831
	5	a	13	—	45	15.40	—	15.35	11.93	—	11.94	0.775	—	0.777
		b	9	37	44	15.18	15.34	15.46	12.21	12.57	11.27	0.837	0.818	0.762
	6	a	3	22	42	14.54	15.21	15.48	11.57	12.08	12.21	0.791	0.792	0.796
		b	3	30	42	14.68	15.39	15.49	11.75	11.26	12.35	0.805	0.731	0.798
	7	a	—	18	44	—	15.20	15.35	—	12.18	12.10	—	0.802	0.788
		b	3	19	31	15.41	15.48	15.55	11.76	11.46	11.45	0.763	0.736	0.732
	8	a	—	11	39	—	15.37	15.40	—	11.70	12.33	—	0.761	0.802
		b	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	9	a	8	24	41	15.48	15.42	15.41	11.63	11.43	12.29	0.746	0.734	0.819
		b	4	23	—	15.40	15.41	—	11.73	12.34	—	0.758	0.800	—
	10	a	5	24	—	15.44	15.52	—	13.12	12.18	—	0.844	0.785	—
		b	2	24	—	15.50	15.40	—	11.66	12.88	—	0.753	0.838	—
	11	a	0	20.5	33	15.50	15.58	15.53	12.51	12.99	12.17	0.807	0.838	0.796
		b	0	12	33	15.61	15.70	15.70	13.38	10.64	12.43	0.858	0.678	0.791
未粉砕のもの	12		1	—	24	15.23	—	15.36	21.99	—	20.36	1.442	—	1.325
	13		8	—	30	13.35	—	15.61	19.40	—	20.67	1.452	—	1.322
	14		11	—	31	15.43	—	15.54	21.45	—	20.52	1.390	—	1.315
	15		12	—	32	15.46	—	15.48	20.67	—	20.40	1.340	—	1320

表-5

圧縮強度試験結果

種類	番号		係数 上	係数 中	係数 下	破壊強度 (kg/cm²) 上	破壊強度 (kg/cm²) 中	破壊強度 (kg/cm²) 下	H/D=2に換算した圧縮強度(kg/cm²) 上	H/D=2に換算した圧縮強度(kg/cm²) 中	H/D=2に換算した圧縮強度(kg/cm²) 下	290kg/cm²を100とした場合の圧縮強度比(%) 上	290kg/cm²を100とした場合の圧縮強度比(%) 中	290kg/cm²を100とした場合の圧縮強度比(%) 下
人道より採取したコア	1	a	0.75	0.74	—	218	296	—	163	218	—	56	75	—
		b	0.74	0.71	0.69	415	431	314	304	306	216	105	106	74
	2	a	0.72	0.73	0.70	264	194	314	189	142	220	65	49	76
		b	0.72	0.71	0.71	337	360	516	241	256	364	83	88	126
	3	a	0.71	0.72	0.72	272	349	339	193	251	244	67	87	84
		b	0.72	0.72	0.70	246	342	331	177	244	232	61	84	80
	4	a	0.72	0.72	0.71	378	445	296	272	318	210	94	110	72
		b	0.74	0.68	0.79	212	255	186	156	172	146	54	59	50
	5	a	0.71	—	0.72	312	—	392	222	—	280	77	—	97
		b	0.76	0.75	0.71	361	406	348	273	302	246	94	104	85
	6	a	0.73	0.73	0.73	335	450	430	244	328	312	84	113	108
		b	0.74	0.68	0.73	311	431	427	228	294	312	79	138	108
	7	a	—	0.73	0.72	—	445	433	—	335	312	—	116	108
		b	0.71	0.69	0.68	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	8	a	—	0.71	0.74	—	326	286	—	230	210	—	79	72
		b	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	9	a	0.69	0.69	0.75	290	330	365	200	226	272	69	78	94
		b	0.70	0.73	—	291	378	—	204	276	—	70	95	—
	10	a	0.76	0.72	—	404	370	—	308	266	—	106	92	—
		b	0.70	0.76	—	365	385	—	256	291	—	88	100	—
	11	a	0.74	0.76	0.73	415	419	381	306	317	278	106	109	96
		b	0.77	0.64	0.73	365	299	339	281	191	246	97	66	85
水抜パイプより採取したコア	12		0.96	—	0.95	447	—	430	429	—	409			
	13		0.96	—	0.95	504	—	331	484	—	314			
	14		0.96	—	0.95	336	—	185	321	—	176			
	15		0.95	—	0.95	398	—	320	378	—	304			

SEKIREI A4 NO. 54

表-6 コンクリートの示方配合（工事誌-P348および P366より抜萃）

工区 *	設計強度 (kg/cm²)	目標強度 (kg/cm²)	粗骨材の最大径 (mm)	スランプ (cm)	単位水量 (kg)	単位セメント量 (kg)	W/C (%)	S/S	単位細骨材量 (kg)	単位粗骨材量 (kg)	AE剤の種類	セメントの種類
下関側	270	310	40	12~13	195	355	55	1.5	730	1,100	リグニール	—
門司側	〃	〃	50	〃	187.5	375	50	1.8	652	1,173	ビンソール	普通

* 工区と試験コアとの関係は，コアNo1~7 が下関側工区による施工で コアNo.8~11が門司側施工のもつと思われる。

表-7 管理試験結果（工事誌-P541より抜萃）

工区	施工年度	打設場所	使用ベッチャーの種類	設計強度 (kg/cm²)	試料成績 組数	個数	平均強度 (kg/cm²)	変動係数 (%)
下関側	29-4	二次覆工	改造ベッチャープラント	270	20	67	312	4.8
	30-1				15	45	311	5.1
	30-2				15	45	297	3.7
	30-3				13	39	309	6.5
	31-2				31	93	287	6.5
	31-3				7	21	296	6.1
門司側	29-3	二次覆工	簡易容積配合設備ベッチャー	270	20	60	267	16.3
	29-4				19	57	278	16.4
	30-3				17	51	228	19.8
	30-4				26	78	312	12.0

表-8 コンクリートコアの強度（工事誌-P533より抜萃）

コア採取場所	平均強度 (kg/cm²)	最大強度 (kg/cm²)	最小強度 (kg/cm²)	変動係数 (%)
二次覆工下部，側壁	288	360	222	10.5

表-9 試験結果

コアの採取位置	供試体の深さ	供試体数	圧縮強度 (kg/cm²) 平均値	最大値	最小値	変動係数 $\frac{\sigma}{\bar{x}}$ (%)
人道床面	上部	14	219	304	163	20.5
	中部	19	261	335	142	21.0
	下部	16	256	364	146	20.7
水抜トンネル	上部	4	403	484	321	17.3
	下部	4	301	409	173	31.8

附　　録

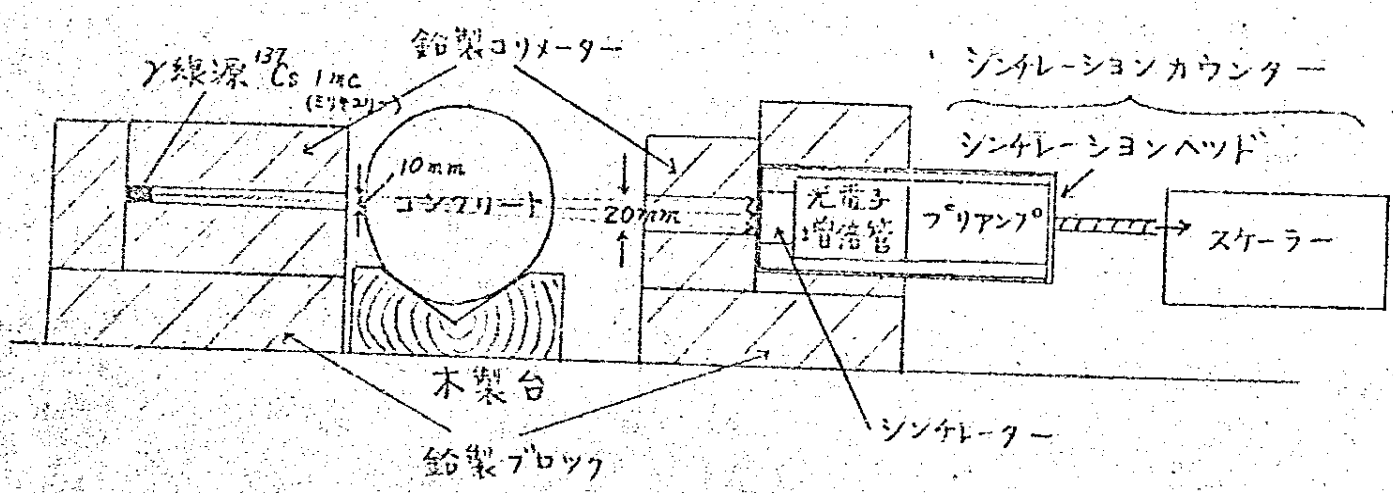
γ線透過法による比重の測定方法について

γ線透過法による比重の測定

・測定装置

装置は下図の通りである。

測定装置（縦断図）



・測定原理

γ線がコンクリートを透過する場合透過後のγ線強度は次式で示される。

$I = I_0 e^{-\mu_m \rho x}$ …… (1)

I = 透過後のγ線強度（1分間当りのカウント数…… cpmであらわされる）

I_0 = 透過前のγ線強度（cpm）

μ_m = コンクリートの化学組成とγ線エネルギーによって定まり 質量吸収係数と呼ばれ（cm^2/g）であらわされる。

ρ = コンクリートの比重（g/cm^3）

x = コンクリートの厚（cm）

(1)式のうちμ_mはγ線のエネルギーを一定とすればコンクリートの化学組成によって変るが組成の違いによるμ_mの変化は余り大きくないので一般的に配合組成のコンクリートについて

求められる μ_m を用いて近似的にコンクリートの比重を計算できる。
単位セメント量 300 kg 前後，水セメント比 60% 程度で一般的な化学組成をもつ骨材を用いたコンクリートについて γ 線源に ^{137}Cs（γ線エネルギー 0.662 MeV）を用いた場合の μ_m を求めて見ると 0.077 (cm²/g) 程度にこの値は多少配合が変っても問題とする程の変化を示さない。

(1) 式より　$I_0/I = e^{\mu_m \rho x}$　$\mu_m \rho x \log e = \log I_0 - \log I$

$$\rho = \log I_0 - \log I / \mu_m x \log e = 2.303 \frac{\log I_0 - \log I}{\mu_m x} \quad \cdots (2)$$

(2) 式により測定して得た I, I_0, x 及び近似的 $\mu_m = 0.077$ (cm²/g) を用いて比重 (ρ) を求めることができる。

○ I, I_0, x の測定及び比重の計算例

I, I_0 は γ 線の計測に適した放射能測定装置（シンチレーションカウンター）を用いて測定し，x はノギスを用いて測定した。
測定期間中は装置の作動状態は安定しており I_0 は 158,600 cpm 前後の安定した値を示し，
I は大体 9,000 ～ 13,000 cpm が得られた。
コンクリートコアの直径 x は 14.90 ～ 15.80 cm で大部分は 15.40 ± 0.20 cm の範囲内にあった。
参考までに I = 10,000 cpm, I_0 = 158,600 cpm, x = 15.50 cm, μ_m = 0.077 (cm²/g) として比重を計算して見る。

$$\rho = 2.303 \frac{5.200 - 4.000}{0.77\,(cm^2/g) \times 15.50\,(cm)} = 2.303 \times \frac{1.200}{1.194\,(cm^3/g)} = 2.315\,(g/cm^3)$$