

鉄道省土質調査委員会報告第4輯
(昭. 11. 4.) p. 58 第2表

2) Taylor: Fundamentals of Soil Mechanics.
p. 379. (昭. 27.8.8.)

UDC 624.191.814:624.196.1
666.972:620.173

トンネルのコンクリート覆工から切り取つた コアの圧縮強度試験

正員 坂 本 貞 雄*

ON THE BORING TESTS OF THE CORE TAKEN FROM THE CONCRETE LINING OF TUNNEL

(JSCE Jan. 1953)

Sadao Sakamoto, C. E. Member

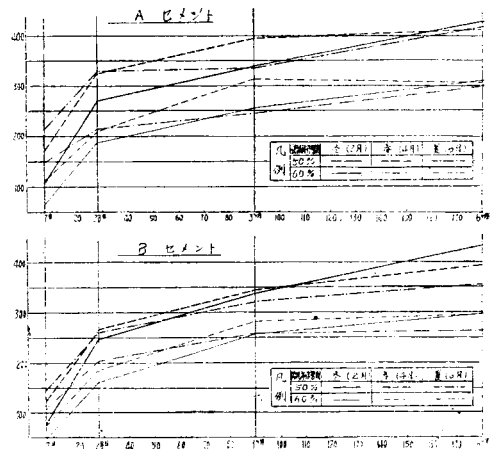
Synopsis This paper is the report about boring tests of the core taken from the concrete lining of tunnel. The strength of the specimens of the core from parts well vibrated, was not particularly lower than the strengths of the standard specimens made at the lavatory. But at the upper parts of the arch crown where the concrete could not be well vibrated, the strength of the concrete is low, and it shows the method of the concrete placing at this part was not so good.

From this test, the author, too, describes about the the designing strength of the concrete.

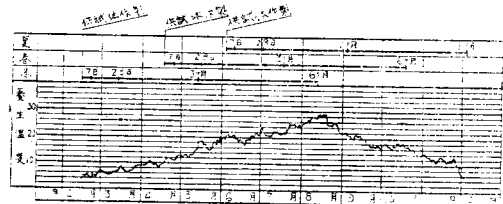
要旨 本文は、国鉄信濃川水力発電第3期水路トンネルコンクリート覆工から、コアを採取し、その強度を試験した結果を述べたものである。完成したアーチ及び側壁コンクリートから取つたコアの供試体の強度と、実験室で作つた標準供試体の強度とを比較した。その結果、平均強度はバイブレーターがよくかかっている範囲内ではこれらの間に大差はなかつたがアーチコンクリートの上部のバイブレーターのよくかからない部分の強度は小さくまた同一箇所強度の偏差は、アーチコンクリートが側壁コンクリートより大きくなり、現在のアーチコンクリートの施工法には改良すべき点のあることを示した。なおこの試験の結果からコンクリートの設計強度についての考察を述べた。

の考察においては、この試験結果から、実験室における標準強度として、 $w/c=60\%$ において $\sigma_{6ヶ月}=300$

図一1 実験室におけるコンクリート強度試験



図二 実験室におけるコンクリート強度試験の供試体養生温度



1. 緒言

本文は、国鉄信濃川水力発電第3期工事、水路トンネルのコンクリート覆工の良否を判定するために、トンネルのアーチ及び側壁コンクリートから、コアを切り取り、圧縮強度試験を行つた結果について述べたものである。

2. 実験室における試験

実験室におけるコンクリート強度試験の結果は、図一1である。これは、A及びBポルトランドセメントについて行つたものである。本工事には、これらの他、数種のポルトランドセメントを使用したか、以下

* 国鉄岐阜工事事務所次長

kg/cm², w/c=50%において, σ_6 ヶ月=400 kg/cm², を推定した。図-2 は供試体の養生温度である。

2. 切り取ったコアの圧縮強度試験計画

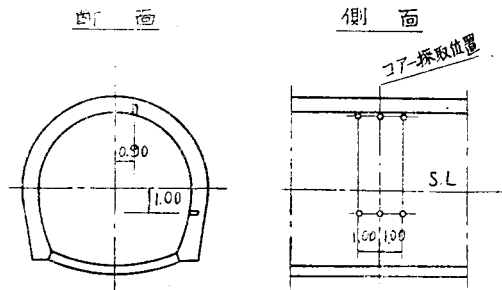
(1) コアの採取位置 供試体の採取位置は, 材令6ヶ月の圧縮強度試験を昭. 26. 5 に行う計画のもとに, 各作業所別に昭. 25. 11にアーチ及び側壁コンクリートを施工した箇所とした。但し, M~P 作業所, (図-3 参照) では, 昭. 25. 11 以前にアーチ及び側壁コンクリート作業を終了していたので, これらの作業所では最後のコンクリート施工位置から, コアを取った。図-3 はコアの採取位置を示したものである。

(2) 供試体の数 供試体の数は, 各作業所につきアーチ及び, 側壁コンクリートから各3個, 計6個とした。16 の作業箇所があつたので, 供試体の総数は

図-3 コア の 採 取 位 置

作業所名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
コア採取位置	0°510	1°160	2°220	3°385	4°400	5°270	6°375	7°490	8°570	9°680	10°040	11°480	12°102	12°850	14°432	16°
採取位置	1°204	1°348	2°820	2°824	3°116	6°090	6°260	7°931	8°261	9°197	10°690	10°818	12°474	15°570	13°650	15°58
トンネル断面	○															
トンネル延長	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

図-4 コア の 採 取 箇 所



96 個となつた。図-4 は, 供試体の採取箇所を示したものである。

(3) 供試体の寸法 コアの直径は, 粗骨材の最大寸法からすると, 20 cm が望ましいが, 手持の機械の都合でやむを得ず 5 cm とし, 高さは 30 cm を標準とした。

(4) 供試体の材令 供試体の材令は, さきに述べたように6ヶ月を目標として計画したが, コアの採取に予定以上の時日を要したので, 実際の材令は7~11ヶ月となつた。

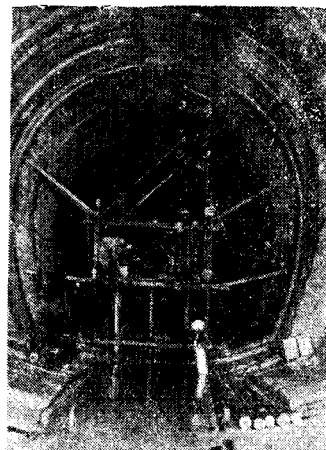
4. 切り取ったコアの供試体

(1) コアの採取 ヤマトB型ボーリング機械を木製足場に据え付け, コアを採取した。動力には, 6 HP のディーゼルエンジンを使用し, 刃先には, タン

ガロイを植え込んだメタルクラウンを用いた。

写真-1 は, コア採取作業を示したものである。表-1 は, コアの採取工程実績である。コアの採取作業は昭. 26. 2. 22 から, 昭. 26. 6. 19 まで, 4ヶ月間を要したが, そのうち29日

写真-1 ボーリング作業



間は, 関連工事のため, 作業を中止したので, 実働日数は, 89日であつた。順調な時は, 17日間に30個のコアを採取した。1個のコア採取に要した時間は, 平均147分(表-2 参照)であつた。なお, メタルクラウン1個当りのコアの採取個数

表-1 コア の 採 取 工 程 実 績

作業所名	2月				3月				4月				5月				6月	
	20	20	20	30	10	20	30	31	10	20	30	31	10	20	30	31	10	20
A																		
B																		
C																		
D																		
E																		
F																		
G																		
H																		
I																		
J																		
K																		
L																		
M																		
N																		
O																		
P																		

凡例 ■ ボーリングを施工した日 □ 遅漏或いは後歩行の日

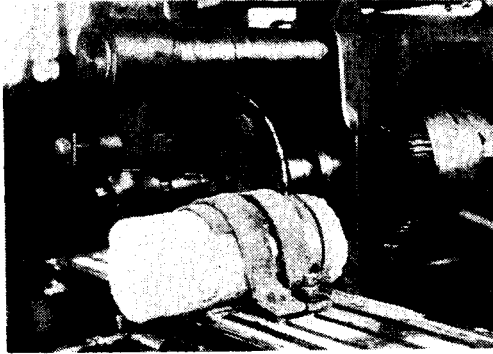
表-2 コア採取所要時間

メタルクラウン 1個当り採取回数	コア1個当り消費時分(分)							平均 時分(分)
6	180	180	170	150	140	160		163
5	180	120	160	170	180			162
5	120	130	160	150	180			148
6	160	150	170	180	200	210		178
5	130	150	150	160	120			142
4	120	170	190	150				158
6	120	40	60	130	100	90		90
6	80	100	110	120	70	60		90
4	110	90	120	120				110
5	150	160	160	150	130			150
2	250	270						260
5	190	180	210	180	180			188
7	180	190	170	150	150	140		161
7	150	160	110	100	130	150	130	133
計	73							147

は 2~7 個であった。

(2) 供試体の両端面の仕上げ 供試体の両端面は、軟鋼にタンゴロイを植え込んだカッターをミーリング

写真-2 カッター



マシンに取付けて切断した。写真-2 は、この切断作業を示したものである。コアのキャッピングには、水セメント比、27~29%のセメントペーストを使用した。

(3) 工費 工費は職員の給料及びボーリング機械の償却費を除き、総額 549 000 円で、内訳は材料費は 129 000 円、人件費 420 000 円 (1 203 人) であつた。コアボーリングの数は、96 個のほか練習用その他で 9 個、計 105 個であつたが、工費を供試体 1 個当

表-3 コアボーリング材料表

品名	品質	形状	単位	数量	金額(円)
杉丸太	末口	0.2尺	本	20	14,000
		0.15尺		20	3,000
		0.12尺		10	1,000
杉角材	0.4x0.4	x1.2尺		55	25,056
杉板	0.1x0.6	x6.0尺	枚	30	3,240
軽油			立	370	5,496
モビール				74	2,336
グリス			リ	10	1,238
亜鉛鍍鉄板	2.9 #		枚	5	499
線	φ = 2.10mm		本	20	5,000
ホールト	φ = 5分	長 = 8寸		32	1,440
	φ = 3分	長 = 45寸		32	1,280
ワイロ	5	分	米	30	966
カヌー	ス		本	1	5,850
ベルト	VB	720吋	本	2	1,086
		100吋		2	440
メタルワゴン			ヶ	27	53,970
ボ			費	6	501
ワラ縄			巻	22	1,615
運			枚	10	290
石	鉄工業用		ヶ	20	159
計					129,462

表-4 コアボーリング人件費表

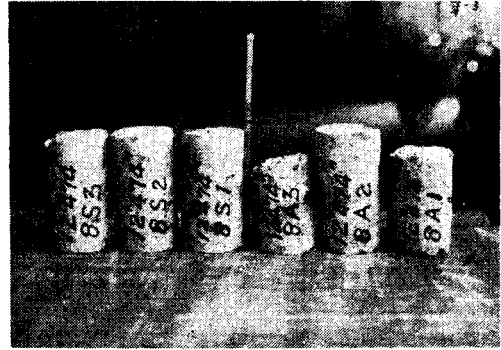
	職員徴費		機械工		土工		計	
	人員	金額(円)	人員	金額(円)	人員	金額(円)	人員	金額(円)
コア採取	104	62,148	180	63,712	60	10,800	344	136,660
メタル植込			42	10,500			42	10,500
コアの両端切断	18		44	10,340			62	10,340
運搬	164	115,740	180	63,712	220	39,600	564	219,052
其他	30	19,296	86	20,720	75	13,500	191	53,516
	316	197,184	532	168,984	355	63,900	1,203	420,068

りに直すと、5700 円となつた。表-3 は材料表、表-4 は人件費表である。

5. 切り取つたコア供試体の圧縮強度

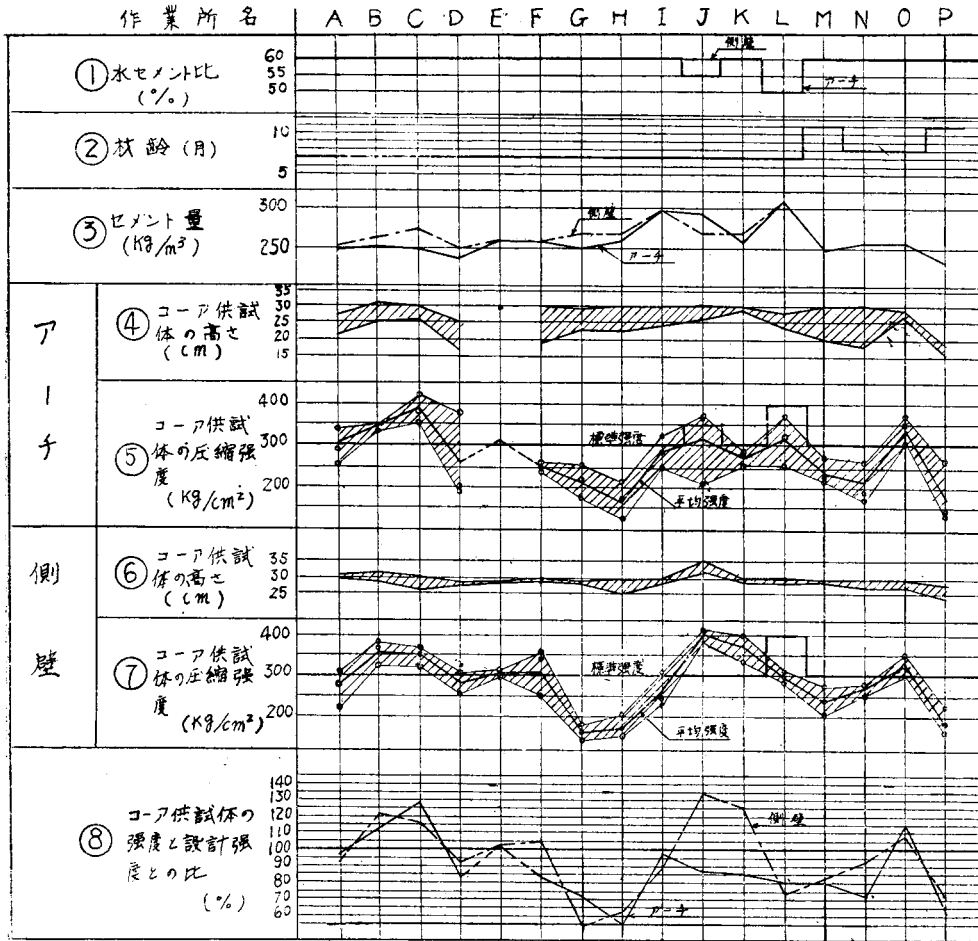
圧縮試験には、アムスラー 100t 試験機を用いた。試験結果は、図-5 である。設計水セメント比は、①に示したように、J作業所のアーチコンクリートの 55%、L作業所のアーチ及び側壁コンクリートの 50%を除き他は 60%であつた。材令は②に示したように、N、O作業所は、8ヶ月、M、P作業所は11ヶ月で、他は7ヶ月であつた。使用セメント量は、③に示したように、312~232 kg/m³ であつた。アーチコンクリートから採取したコアの高さは、④に示すように仕上後の寸法で、平均 26.4 cm、最低は、16.6 cm で 20 cm 以下のものが 6 個あつた。写真-3 は、切り取つたコアの一例である。アーチコンクリートの圧縮強度

写真-3 切り取つたコア



は、⑤に示したように 1ヶ所当り 3 個の供試体の圧縮強度の平均値は、164~385 kg/cm²、総平均は、272.2 kg/cm² であつた。細線は最低値、最高値、太線は、平均値を示してある。なおこの値は直径の 2 倍の高さのある供試体の強度に換算したものである。側壁コンクリートから採取したコアの高さは⑥に示すように、仕上後の寸法で、平均 28.9 cm、最低は、24.0 cm であつた。側壁コンクリートの圧縮強度は、⑦に示してあるように、平均値は、160~401 kg/cm²、総平均 288 kg/cm² であつた。実験室の試験から、w/c = 60% では 300kg/cm²、w/c = 50% では 400kg/cm²、w/c = 55% では 345 kg/cm² を標準として、これらの値で、それぞれ⑥、⑦の値を割つた比率が、⑧である。この比率の最低値は、アーチコンクリートでは 55%、側壁コンクリートでは 54%となつた。実験室の供試体の強度の 85%以上を示したものは、16ヶ所中アーチ 8ヶ所、側壁 11ヶ所、85~70%を示したのはアーチ 6ヶ所、側壁 3ヶ所、70~50%を示したのはアーチ 2ヶ所、側壁 2ヶ所であつた。また、各作業所の圧縮強度

図-5 コア供試体の強度試験結果



凡例 ——— アーチ 註 圧縮強度は直径の2倍の高さを持つ供試体の強度に換算したものである
 - - - - - 側壁

表-6 各作業所別のコアの供試体の圧縮強度の最大値と最小値との差

作業所名	アーチ	側壁
A	89	91
B	6	57
C	65	44
D	192	50
E	—	11
F	23	90
G	80	36
H	90	50
I	72	71
J	171	30
K	22	61
L	119	24
M	57	69
N	85	26
O	70	50
P	128	63
平均	85	51

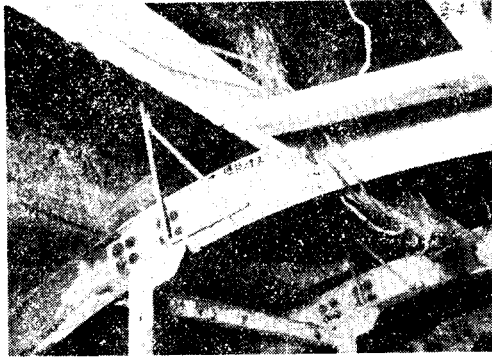
の最大値と最小値との差は、表-6 に示すように、アーチコンクリートで6~192 kg/cm²、平均 85 kg/cm²、側壁コンクリートで 11~91 kg/cm²、平均 51 kg/cm²であつた。

6. 試験結果の検討

本試験の結果から、本工事におけるコンクリートがトンネル覆工のコンクリートとして満足であるかどうか、また、アーチコンクリートと、側壁コンクリートの施工の差がどのような結果として現われているかを検討してみた。

コンクリートは、練り混ぜ所から、トロにより、吊棧橋上を運搬し、側壁にはこれをシュートで流し込み(スランブ 5~7.5 cm) アーチには、スコップではね上げ、ともにバイブレータをかけた。アーチ上部では、金具を使用して、堰板を写真-4 のように取付け、巻厚 20 cm は、バイブレータをかけやすいように

写真-4



した。アーチコンクリートのスランブは、5 cm を標準としたが、とかく固くなりがちであり、実際には 2.5 cm 程度になつたところもあつた。

(1) アーチ及び側壁コンクリートの強度について

a) アーチ及び側壁コンクリートの全体の強度について：コアの供試体の強度は、前項に述べたとおりであるが、そのうち $w/e=60\%$ のコンクリートについて考えると、各作業箇所平均の強度より表-7 が得られる。

この結果、コンクリートの強度が場所によつて小さいところがあり、満足とは云えないが、アーチ及び側

表-7 アーチコンクリートと側壁コンクリートの強度比較

	作業箇所数	平均強度	最高強度	最低強度	最高強度と最低強度の差	偏差	偏差率
コア・アーチ	14	267 kg/cm ²	385 kg/cm ²	164 kg/cm ²	221 kg/cm ²	62.6 kg/cm ²	23.5%
コア・側壁	15	287	401	160	241	71.1	24.8

壁コンクリートの間にはたいした差が認められない。平均強度について云えば、標準強度 300 kg/cm² と比べて、この程度の試料の数では差があるとはつきりはいえないが、アーチのコンクリートの平均強度が小さいことは、施工の欠陥に基づくものかとも考えられる。図-5 の⑧をみると、G,H,P の3ヶ所のコンクリートの強度は、側壁、アーチとも、揃つて小さい。これ等の現場では、配合に誤りがあつたように思われる

点があるので、この3ヶ所を除くと平均強度はアーチコンクリートで 289 kg/cm²、側壁コンクリートで、315 kg/cm² となつて標準強度とほとんど変わらなくなる。

なお、各練り混ぜ所において、施工中のコンクリートから作つた供試体の強度試験の結果をまとめてみると、表-8 のようになる。

表-8 中の1週試験のものは精度が低いので、これ

表-8 練り混ぜ所において、ミキサーからてたコンクリートから作つた供試体強度

		w/c	試料数	平均強度	偏差	偏差率	備	考
				kg/cm ²	kg/cm ²			
1	全工区, 1週試験	60	220	98	37.4	38.5%	昭和24年11月~昭和25年5月	
2	"	60	220	110	34.0	30.6	昭和25年5月~昭和25年8月	
3	"	60	220	120	33.9	29.4	昭和25年8月~昭和25年12月	
4	全工区, 4週試験	60	220	192	43.7	22.5	昭和24年12月~昭和26年7月	
5	I作業所, 4週試験	60	230	188	27.0	14.2	昭和25年10月2日~昭和25年10月25日	
6	"	60	20	227	21.0	9.2	昭和25年10月12日	1日テスト
7	水路枠, 4週試験	60	200	215	45.9	21.7	昭和25年10月7日~昭和25年11月9日	
8	"	50	12	267	23.4	8.8	昭和26年4月1日	1日テスト, 骨材細分, A.E使用, 特注意して施工

を除き、4週試験のものとコアの供試体のものと比較してみると4欄の全工区のものコアの偏差率とほとんど変わらない偏差率を有している。

b) 同一作業箇所の3ヶのコア供試体の強度の偏差について：a) に述べたように、平均強度については、側壁コンクリートとアーチコンクリートとの間には差は認められないが、同一作業箇所の3ヶのコア

供試体の強度の偏差には両者の間に差がある。表-6 は、3ヶの供試体の最高強度と最低強度との差を示したのであつて、3ヶの供試体の強度の偏差率の平均はアーチで 13.1%、側壁で 7.8% となり、偏差率については明らかにアーチコンクリートと、側壁コンクリートの間に差が認められる。これは同一時期に施工したと思われる区域内では、コンクリートの均一性は側壁

表-9 コア供試体の高さ (cm)

	平均値	最低値	最高値	同一箇所3ヶの供試体の最高値-最低値	
				差の最大	差の平均
ア	26.5 cm	16.6 cm	31.2 cm	11.9 cm	5.7 cm
側壁	28.7	22.7	36.5	5.9	2.4

が優つていることを示すものである。

c) コア供試体の高さについて：コア供試体の高さを比較したのが、表—9 である。

コアの高さは、図—4 に示すように、巻厚全部を抜いたのではなく 30 cm を目標としたのであつて、アーチでは側壁に比しコアをとりにくかつたこと、またその高さの偏差は大きかつたことを示している。

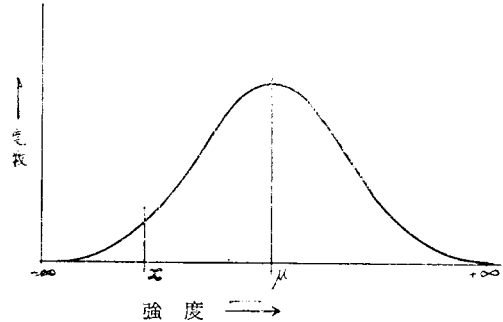
アーチコンクリートを締固めることは写真—4 のような施工を行つてもなお充分でなく、パイプレタがかかるとは、巻厚の下の方だけで、その外側はボラスとなり弱くなりがちである。コア供試体の高さがアーチコンクリートで短いのはこの弱い部分に、刃先が進んだ時コアが折れたためと思われる。一般に施工に当つては、アーチコンクリートにおいては前述のように硬いコンクリートを作りがちであり、従つて締固めの状態が同じであれば、アーチの方が側壁よりも強度が大きくなる傾向がある。これにもかかわらず、アーチコンクリートが側壁コンクリートより小さい平均強度を示しているのは、アーチコンクリートの締固めは巻厚の内側の部分でもなお側壁に及ばないのではないかと思われる。

(2) コンクリートの設計強度について 土木学会の標準示方書は通常コンクリートの設計に当つて所要強度の 15% 増の強度に相当する w/c を採用するのが望ましいとしている。コアの供試体の強度からこの現場における設計値について検討してみた。表—7 の資料は各作業箇所 1ヶ所ずつから取つた個であるので、果してトンネル全体の強度を代表するかどうかは疑問の余地があるが、しかし、この時期（工事の末期におけるトンネル覆工の断面の同一箇所におけるコンクリートの強度を表わし、また、この値が一応トンネ

ル全部のコンクリートを代表しているとして取扱つてみる。所要強度を標準強度 σ_6 7月 300 kg/cm^2 ($w/c=60\%$) の 85% の 260 kg/cm^2 ($w/c=65\%$) とし、全コンクリートの 90% が所要強度以上になるような設計強度を求めてみる。

コアの強度の分布は図—6 のごとき正規分布（平均強度 μ 、偏差率 C 、偏差 $\sigma=C\mu$ ）をなすものとする。

図—6 強度分布曲線



90% の確率を与える強度の範囲を $x \sim \infty$ とすると

$$x = \mu - 1.28 \sigma = \mu - 1.28 C \mu = \mu (1 - 1.28 C) \dots (1)^*$$

となる。(1) 式において、 $x = 260 \text{ kg/cm}^2$ として、各偏差に応じて、 μ を求めれば、 μ が設計強度になる。コアのアーチと側壁について計算すると、設計強度は σ_6 7月でそれぞれ 377 kg/cm^2 、 387 kg/cm^2 とすべきであつたことになる。

表—8 に示すものうち、全工区の 4 週試験、I 作業所の 4 週試験、水路橋の $w/c=50\%$ がそれぞれ、その部分のコンクリートの品質を代表していると仮定し、且つその平均強度が標準強度であつたと仮定すると、表—9 のような設計強度が必要であることになる。

もちろん、現場のコンクリート供試体の平均強度が

表—9 各偏差率に応じた設計強度（全コンクリートの 90% が所要強度以上とする場合）

		偏差率	試料数	推定偏差率	現場の 設計強度	所要強度 との比	設計 w/c	所要セメ ント量	セメント 量の増減
1	コアアーチ	23.5%	14	24.3%	377kg/cm ²	145%	52%	304kg/cm ³	40kg/cm ³
2	コア側壁	24.8	15	25.7	387	149	51	310	46
3	全工区	22.5	220	22.5	365	140	53	298	34
4	I 作業所	14.2	230	14.2	318	122	58	272	8
5	" 1日テスト	9.2	20	9.5	296	114	61	259	-5
6	水路橋1日テスト	8.8	12	9.2	295	114	61	259	-5

註：設計 w/c は第 2 章に述べた試験室の標準供試体の強度をもとにしたものから算出した。使用セメント量は $w/c=60\%$ の全工区の平均が 264 kg/cm^3 であるのでこれから平均の骨材を使用するとして算定した。セメント量の増減は $w/c=60\%$ の時のセメント使用量 $=264 \text{ kg/m}^3$ との多小を比較したものである。

標準強度と違う場合にはその差も補正しなければならぬが、特別の場合を除いて平均強度が標準強度とほぼ等しいと仮定することはそれほど無理ではない。い

* 森口繁一著：初等数理統計学 p.44 (16.7) 式及び附表—4

まの場合、コアの平均強度が施工上の原因によつて標準強度より小さいのであるとすれば（推計学的には、標準強度との間にはつきりした差があるとは云えないが）、アーチで 33 kg/cm^2 、側壁で 13 kg/cm^2 だけ大きい設計強度を用いるべきことになる。G,H,P 作業

所において、配合に誤りがあったことが想像されるので、これを除外して考えれば、平均強度がアーチで 289 kg/cm^2 、側壁で 315 kg/cm^2 、偏差率で、17.5%及び 15.6%となつて相当よい値となり、また標準強度との差も考えなくてよい程度と思われる。標準強度と平均強度との差を考えないことにして、表-9で各場合について比較してみると、コアの場合は、その他の場合と異なり、コンクリートの運搬、打込み、締固め及び、コアテストの影響が入っているが、最も悪く、設計強度は所要強度の 145%あるいは 149%、設計 $w/c=52$ あるいは 51%、セメント使用量 304 kg/m^3 あるいは 310 kg/m^3 となつている。練り混ぜ所で作つた供試体について考えると最も悪い全工区(3欄)と最もよい水路橋1日テスト(6欄)とでは設計 w/c において、 $61-53=8\%$ 、使用セメント量において $298-259=39 \text{ kg/m}^3$ の差がでる。すなわち、よいプラントを使用し、細心の注意を払つて、コンクリートを作つ

たところと、そうでないところでは、セメント使用量がコンクリート 1 m^3 当り 39 kg も差がでることになる。セメントの単価を 9 円/kg とすると、コンクリート 1 m^3 に対し、 $39 \times 9 \text{ 円}=351 \text{ 円}$ 、1作業所の平均コンクリート量 12000 m^3 に対しては 420 万円 の差がでる。信濃川全工区 200000 m^3 に対しては、実に 7000 万円 の差がでる。故によい設備を作り細心の注意を払つて施工することが大工事では特に有利であることがわかる。工事現場では使用しているプラントの性能を一刻も早く知り偏差率を決定して、これに基づいてコンクリートの配合の設計を行うことが必要である。なお参考までに追加すると全コンクリートの 85%が所要強度以上になるような設計強度を計算したのが表-10である。その限度を 90%にすべきか、85%にすべきかは構造物の重要性からきめるべきであると思ふ。

表-10 各偏差に応じた設計強度(全コンクリートの 85%が所要強度以上となる場合)

		推定偏差率	設計強度	所要強度との比	設計 w/c	所要セメント量	セメント量増減
1	コアアーチ	24.3%	348 kg/cm^2	134%	55%	288 kg/cm^3	24
2	コア側壁	25.7	354	136	54	293	29
3	全工区	22.5	339	131	56	282	18
4	I作業所	14.2	305	117	59	268	4
5	"1日テスト	9.5	288	111	62	255	-9
6	水路橋1日テスト	9.2	282	109	62	255	-9

7. 結 び

本試験及び前論文*の結果から考えて、強度の偏差率を 10%程度まではあげうるものであり、これがためには一段と慎重な、入念な施工が必要であり、特に骨材の粒度について注意をし、よい設備にしなければならない。また、そうすることが結局は全工費を安くすることにもなる。

なおアーチコンクリートの施工には一段と改良工夫の要がある。

この試験を始めるに当つて、トンネルコンクリートのコアテストの前例があまりないので参考にすることがなく準備、計画の点において、不十分の点があり、

完璧な試験とは云えないのが残念である。が、とにかくでき上つたトンネル覆工のコンクリートの実情の一端を知ることができ、またこの種の今後の試験には参考にし得る点はあると思ふ。そして、現場のコンクリートがより均一で無駄のない、また経済的なコンクリートとなる一助ともなれば、望外の幸である。

本試験研究に当つては、文部省科学研究費の交付を受け、吉田徳次郎先生、国分正胤先生の御指導をいただき、国鉄技師長藤井松太郎氏、信濃川工事事務所長大谷勝氏の御鞭撻の下に行つたものである。試験遂行に当つては、北原正一氏、小林義太郎氏、に負うところが多かつた。
(昭.27.8.18)

* 著者：“骨材の粒度の不平等性がコンクリートに及ぼす影響について”土木学会誌第 36 卷 11 号

比企野広治氏逝去さる

本会中部支部長として各方面にわたり長らく御尽力戴いた名古屋工大教授、比企野広治氏は去る1月6日急逝された。享年60才、なお告別式は8日午後1時より仏式により営まれた。紙上を藉りて心から哀悼の意を表する次第である。