

コア供試体の引張強度試験方法に関する一考察

加賀美一二三*・岡重 孝愛**・長谷川 博*・兼行 啓治***

Study on the Test Method for Tensile Strength of Core Concrete Specimen

Hifumi KAGAMI*, Takayoshi OKASHIGE**, Hiroshi HASEGAWA*,
and Keiji KANEYUKI***

Abstract

Tensile strength test for core specimens is not executed perfectly due to irregular surface of their sides.

It is a report that the authors experimented the tensile test with regard to plain (JIS ; specification) and curved surface loading by sulfurate thin contact layers of upper and lower plane of specimen, and studied the results as for effects of pressure distributed layers, practical applications, corrected coefficients on side surface form, and influences from different loading method, as the testing method of core irregular surface is not indicated to test code at present.

1. 緒 言

構造物コンクリートの強度を判定する方法としては一般標準供試体と、現場コンクリートとなるべく類似の養生を行なった供試体で試験する方法が採用され、工事終了後には、コア供試体(コ, 標示, 108条)による方法が非破壊試験方法などが採用されている。しかしながら、構造物コンクリートと供試体強度とはコンクリートの打設、養生、その他諸条件が異なるので、この両者の強度を同一とみなすことはできない。また、非破壊試験の目的は圧縮強度を推定することであり、引張強度を正しく判定するためには、コア供試体を直接採取して試験する方法によるのが確実であるが、コア供試体も採取時にドリルの振動によって長さ方向のまがりや側面に不規則なリング状跡が生じ良好な側面状態とはいえないようである。

コンクリートの引張強度試験方法(JIS)によれば供試体の上下接触面の直線性の良否は試験値に直接影響することが考えられ、よって側面形状の不整なコア供試体で原形のまま引張強度試験を行なうことは困難である。

現在、このことに関する指針は示されていないの

で、著者らは載荷時の上下接触面に直線性をもたせる一方法として、コア供試体の直径方向の両側に硫黄で加圧分布層を施し、この両面に載荷する方法を採用してみた。また安定した荷重関係をうるために、従来の平面載荷方法(JIS)だけでなく曲面載荷方法も併用することにし、加圧分布層の効果と実用性、側面形状と補正係数および載荷方法の相違による影響などについて、型わく成形の基準供試体をもとにして、比較検討したのでその結果を報告する。

2. 使用材料

2.1 セメント

U社の普通ポルトランドセメント, 比重, 3.15.

2.2 骨 材

細骨材は宇部市厚東川沖産, 粗骨材は山陽町産の碎石で, 粒径の範囲が5~15, 15~25, 25~40mmの各群を準備した。その性質を示すと Table 1のとおりである。

3. 実験方法

3.1 コンクリートの配合

試験方法, 供試体本数ならびにコア供試体採取時の影響などの関係上, 目標スランプ値を5cm, 配合強

* 工業短期大学部土木工学科

** 山口県宇部土木事務所

*** 土木工学科

Table 1 Properties of aggregate

Each term of experiment Kinds of aggregate	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	Percentage of absolute volume	Fineness modulus	Organic impurities
Fine aggregate	2.58	1.01	1650	64.0	2.35	Good
Coarse aggregate	2.66	0.90	1640	61.5	7.54	—

度は一般コンクリートに相当する範囲で、I (180 kg/cm²) II (240), III (300) と定め、粗骨材の最大寸法は25mmおよび40mmとして配合を決定したものは Table 2 のとおりである。

3.2 供試体の製作

各配合ごとの練り上り容積は110ℓとし、スランプの測定後φ10×20cm供試体を製作し(基準供試体)つぎにFig. 1 に示す型わくに内部振動機を用いて、コア供試体(φ10×20cm) 採取用コンクリート版を打設し

Table 2 Design of concrete proportion

Kinds of concrete	Concrete strength σ_{ck} , (kg/cm ²)	Max. size of coarse aggregate (mm)	Slump (cm)	Water cement ratio w/c	Percentage of absolute fine aggregate ratio	Unit weight (kg/m ³)			
						W	C	S	G
I	180	25	5.2	68.5	44.7	183	267	828	1024
		40	5.1	68.5	39.7	175	255	750	1140
II	240	25	5.5	58.0	43.0	183	316	780	1033
		40	5.1	58.0	38.0	175	302	700	1142
III	300	25	5.5	53.0	41.0	183	364	727	1046
		40	5.5	53.0	36.0	175	348	653	1161

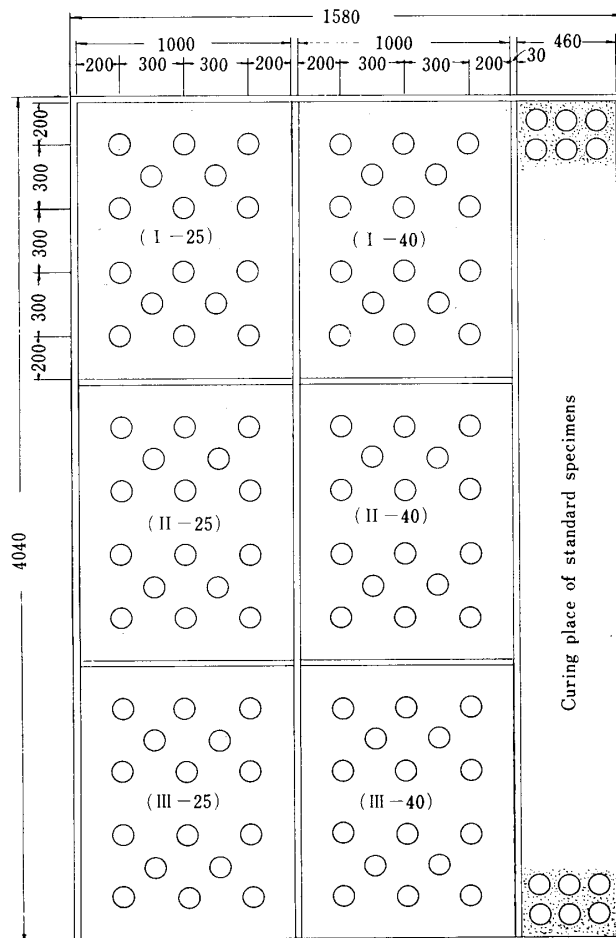


Fig.1 Boring positions of core specimens

た。このコンクリート版は室外に設け、日光の直射をさけるため湿潤養生とし、また、同一条件下で養生する目的で基準供試体もその側方で湿砂養生を行なった。打込後6週間を経てコア採取を行ない、コンクリートカッターで両端面を切断し、高速研磨機で上下両端面を正確に仕上げた。

3.3 コア供試体の側面形状の記録

コア供試体の側面に長さ方向のまがりやコアードリルの回転あとが生じた。直径方向の上下面を加圧する引張強度試験では接触面の不規則性が試験値に大きく影響することが考えられるのでFig. 2 の装置で直径方向

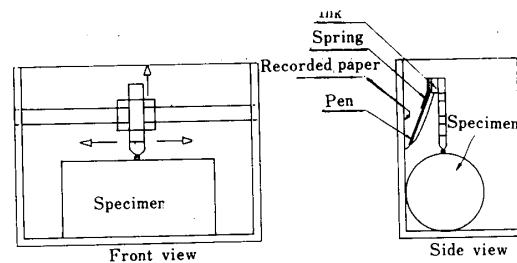


Fig.2 Recording apparatus of side surface form

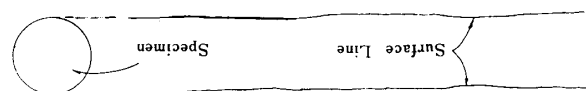


Fig.3 An example of record of side surface of specimen

の両側面状態を記録したが、その一例を示すとFig. 3のとおりである。

3.4 加圧分布層とその成形方法

加圧分布層は締め付け金具をもって、2本の角鉄で巾が20mmとなるように供試体の長さ方向に固定し、そのあいだに熔融した硫黄をそそぎこみ固結させたものである。

これを成形厚さが2mmで、成形層の両面が軸方向に対して平行となるように、曲面（直径100mm）に貼りつけたサンドペーパーで仕上げ、分布層の側面は接着剤でよく密着させた。これらの供試体は、Fig. 4のとおりである。



Fig. 4 Various kind specimens

3.5 試験方法

圧縮強度試験は材令6週で気乾状態のものについてJIS A 1108に準じて実施した。コア供試体は成形後にh/d=2となるよう統一できなかったため直径と高さを測定し試験結果を補正した。

引張強度試験はJIS A 1113による平面載荷方法と成形供試体に対する載荷時の安定を考慮半径100mmの曲面載荷方法も併用した。

平面および曲面載荷装置をFig. 5に示した。

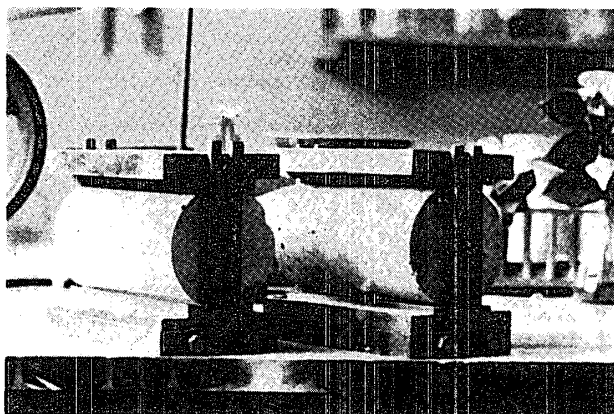


Fig. 5 Loading apparatus of plane and curved surface

3.6 供試体記号

I. コンクリートの配合種別, 目標強度,

			180kg/cm ²
II.	〃	〃	240kg/cm ²
III	〃	〃	300kg/cm ²
25	粗骨材の最大寸法	25mm	
40	〃	30mm	

A. 平面載荷方法

B. 曲面載荷方法

- a 基準供試体 (型わく成形)
- b コア原形供試体 (側面形状が原形のもの)
- c 基準成形供試体 (加圧分布層を施したもの)
- d コア成形供試体 (〃)

4. 実験結果と考察

Table 3 および Table 4 に圧縮強度試験結果と引張強度試験結果を示した。

Table 3 Test results of compressive strength, kg/cm²

Specimens	Standard specimens			Core specimens				
	Items	No.	Compressive strength	Mean values	No.	Corrective coefficient by h/d	Compressive strength	Mean values
I—25		7	168		7	0.996	170	
		8	150	156	12	0.992	157	160
		9	155		15	0.996	155	
I—40		1	181		1	0.994	170	
		2	162	169	6	0.994	177	179
		3	164		5	0.997	190	
II—25		1	229		2	0.999	227	
		2	221	224	5	1.000	253	240
		3	221		15	0.999	239	
II—40		1	242		2	0.990	277	
		2	236	236	5	0.997	254	269
		3	230		10	0.997	278	
III—25		1	286		5	0.999	320	
		2	289	287	6	0.996	287	300
		3	286		10	0.995	294	
III—40		1	307		6	1.000	258	
		2	303	309	9	0.992	348	316
		3	317		14	0.993	344	

4.1 圧縮強度試験結果について

Fig. 6によれば各配合種別ともコア供試体強度が大きく、同時につくったコンクリートであっても、実施

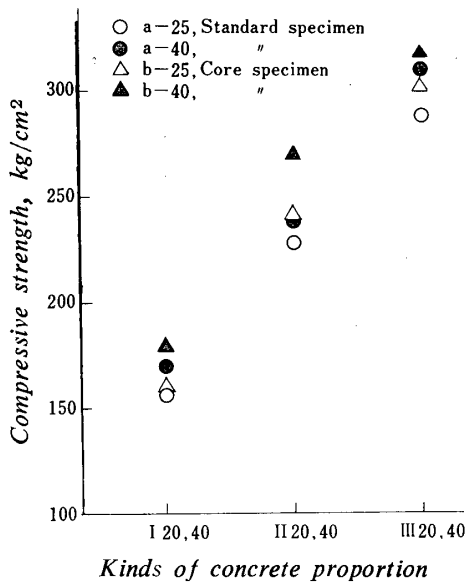


Fig. 6 Compressive strength of standard and core specimens

コンクリートが基準供試体コンクリートよりも大きくあらわれることを示している。このことは、コアコンクリート用板の打設に際し、内部振動機を用いたこと、コア供試体はその周辺における砕石の配列形が密であることによるものであろう。

5. 引張強度試験結果と考察

5.1 加圧分布層の影響

各種供試体の引張強度試験結果は Table 4 のとおりであり、Fig. 7 に基準供試体に対する原形および成形供試体の引張強度比を示した。(基準供試体の縦軸値を1.0とする)

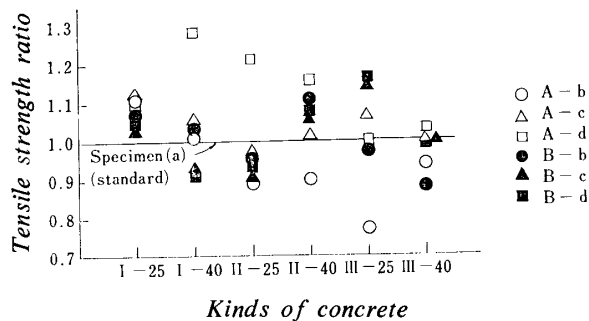


Fig. 7 Tensile strength ratio σ_t/σ_{t0} , ~ratio of b/a, c/a, d/a respectively

σ_{t0} , Tensile strength of standard specimens
 σ_t , Tensile strength of b. c. d specimens

供試体の種別が4種にわかれているので、まず、aとcの関係についてみると、c供試体はa線に対し多

Table 4 Test results of tensile strength

Loading methods	Kinds of specimen	Kinds of concrete					
		I-25	I-40	II-25	II-40	III-25	III-40
Method of plain surface loading	a	14.0	17.8	25.5	25.8	29.9	29.3
		16.3	18.8	23.6	26.8	29.6	30.3
		18.1	22.3	25.5	28.0	31.9	30.6
	b	16.3	19.6	24.9	26.7	30.5	30.1
		17.2	21.7	27.5	18.3	23.3	32.4
		17.9	18.5	22.1	29.7	21.8	23.1
	c	19.4	19.1	17.7	24.3	25.6	29.4
		18.2	19.8	22.4	24.1	23.6	28.3
		21.0	21.6	24.2	26.4	34.4	32.8
	d	16.2	17.8	25.5	27.7	31.5	31.5
		17.8	22.9	23.4	27.7	32.5	27.4
		18.3	20.8	24.2	27.3	32.8	30.6
Method of curved surface loading	a	17.3	24.4	29.5	32.3	29.3	28.9
		17.3	26.7	34.4	30.7	26.7	25.2
		19.8	25.1	27.5	30.0	29.4	33.6
	b	18.1	25.4	30.5	31.0	28.5	29.2
		15.9	20.4	22.6	22.6	25.5	33.4
		16.8	22.9	27.1	21.3	28.6	33.1
	c	20.3	21.7	27.1	21.3	27.4	32.2
		17.7	21.7	25.6	21.7	27.0	32.9
		21.3	26.7	28.2	19.3	31.6	24.4
	d	19.6	18.2	21.6	26.1	25.0	27.6
		16.5	22.2	24.4	27.2	22.6	35.7
		19.1	22.4	24.7	24.2	26.4	29.2
a	20.1	20.7	23.4	22.9	30.2	36.9	
	16.2	18.4	23.9	22.9	33.7	32.2	
	19.7	20.4	21.7	24.8	30.9	30.6	
b	18.7	19.8	23.0	23.5	31.6	33.2	
	17.4	21.7	27.4	33.4	31.9	23.9	
	18.1	20.8	18.0	26.8	30.6	31.6	
c	19.9	17.8	27.1	32.4	32.2	34.4	
	18.5	20.1	24.2	30.9	31.6	30.0	

少のばらつきはあるが、平均的にみれば近似した値とみなされる。

d供試体は、大部分がa線より上部に分布し、a供試体より大きい比率であることは、圧縮強度の場合と同様である。

b供試体は、dの場合とは逆にその大部分がa線以下に分布し相当小さい比率を示した。

以上のb, c, d供試体の引張強度比から、側面形状の不整の原形コア供試体で試験することは信頼性の上からも問題点が多く、次項にのべる補正係数を参考

にし結果値を修正する必要がある。

加圧分布を施した成形供試体は、側面の直線性の良否には関係なく、いずれの場合もほぼだ当な値を示したものと考えられる。しかし、これらのなかにもごく少数ではあるが試験中に成形層の不良が発見され、結果値に大きく影響したものもあるので、成形層の仕上げについては十分な注意を要する。

成形層の材料としては、硫黄のほかに、ウッドメタル、プラスチック系材料（6-ナイロン）など現在市販されているものもあるが、実験当初に比較してみた結果、廉価で、成形が簡単であり、材料自身の応力関係などに良結果をうることができたので硫黄による成形方法を採用した。

5.2 側面の非直線性と引張強度

供試体の側面形状は個々の供試体で不規則にあらわれたので、これを統一するために記録した形状に基準の直線を仮定し、この直線と接触しない長さ (l') を読みとり、供試体長 (l) との非接触比 (l'/l) としてあらわした。Fig. 8, (a), (b) は、非接触比と基準供試体に対する強度比の関係である。

コア供試体の採取に先立ち、その側面に不整の生ずることが推測できたので、10本採取するごとに刃先を交換し鉛直に抜き取るよう注意して作業を進めたのであるが、Fig. 8 より採取した全供試体のなかで側面がほぼ完全に近い直線性を示したものは10%以下であり、そのうえ、非接触比は0~70%程度まで均等に分布した。

基準供試体との強度比は、d 供試体の場合は、非接触比の影響はみられず、硫黄成形による側面の形状改

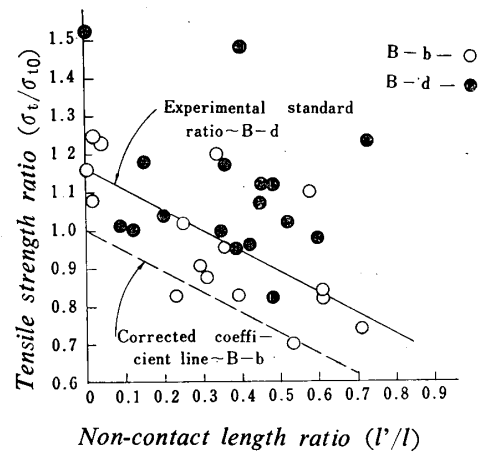


Fig.8(b) Relation between non-contact length and tensile strength ratio

—Case of specimen (B) —

σ_t , Tensile strength of core specimen

σ_{t0} , Tensile strength of standard specimen

善の効果は十分であると判断できる。b 供試体は、非接触比が大きくなるにつれて強度比が次第に低下し、平面載荷方法 (JIS) で、非接触長さ10%につき約7%減少する。曲面載荷方法も同様の傾向である。

このように、コア供試体は側面の不整が試験値に著しい影響をもたらすので、Fig. 8 に補正線を入れて、原形供試体で試験したときの参考にした。しかし、一般には形状の記録、 l' の測定および試験値の偏差など問題点もあるので成形方法の簡単な分布層仕上げによる方法がよいと思われる。

5.3 曲面載荷方法

硫黄成形層を施した供試体は、成形層の厚さ (2 mm) だけ外周より段状に高くなり、そのために、上下成形層の中心と加力方向を一致させることが困難であった。原形コア供試体は、側面の不整によって載荷と同時に接触線が急に移動し、偏心荷重となることがみかけられた。以上は平面載荷方法による場合であるが、つぎに、曲面載荷方法は、支圧面が曲面であることにより、中心の一致は割合に簡単に行なわれ、また、載荷板と供試体とのあいだには接触巾が生ずることになり、接触線の瞬間移動もある程度防ぐことができるなど、試験機に供試体を設定する条件は曲面載荷方法が良結果をもたらすようである。

半径が異なる二つのローラー面における載荷時の接触巾 (b) および最大支圧応力 ($\max. \sigma$) を Hertz の式(1), (2)*を適用して求めてみると Table 5 のとおりである。

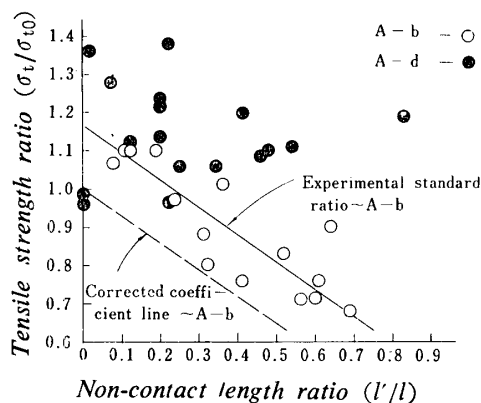


Fig.8 (a) Relation between non-contact length and tensile strength ratio

—Case of specimen (A) —

σ_t , Tensile strength of core specimen

σ_{t0} , Tensile strength of standard specimen

* 土木工学ハンドブック, p. 956.

$$\frac{b}{2} = \frac{4P}{\pi l} \sqrt{\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}} \frac{1/R_1 + 1/R_2}{1/R_1 + 1/R_2} \quad (1)$$

$$\max. \sigma = \frac{4P}{\pi bl} \sqrt{\frac{P}{\pi l} \frac{1/R_1 + 1/R_2}{1-\nu_1^2/E_1 + 1-\nu_2^2/E_2}} \quad (2)$$

ここに、 P 荷重, kg l 供試体の長さ, cm ,

R_1 供試体の半径, cm R_2 載荷板の半径, cm ,

ν_1 コンクリートのポアソン比 (1/6),

ν_2 鋼のポアソン比 (1/3),

E_1 コンクリートのヤング係数, kg/cm^2 ,

E_2 鋼のヤング係数, $21 \times 10^5, kg/cm^2$

$$\sigma_y = \frac{2P}{\pi dl} \left(\frac{4d^4}{(d^2 + 4x)^2} - 1 \right) \quad (3)$$

表中の $P, \sigma_t, \sigma_c, E_1$ の値は各種コンクリートの代表的な値を採用したものであるがこの結果つぎのことかといえる。

(1) 最大支圧応力度は原形供試体に比し成形供試体が大きい。

(2) 成形供試体の $\max. \sigma$ は σ_c の下限値と同一である。

(3) $\sigma_t/\max. \sigma$ は、原形供試体では高強度になるにつれて大きくなるが、成形供試体は一定値を示す。

(4) 接触巾は、 σ_t が大きくなれば若干増大するが、いずれも 2.0cm 以上であるので、成形供試体は成形層の巾 (2.0cm) を接触巾とみなすことができる。

このうち、(1), (2) は成形層の巾を 2.0cm として計算したので当然のことといえる。

(3) の場合は $\max. \sigma$ が σ_c と同程度であることから、 $\sigma_t/\max. \sigma$ が 1/10 程度となり、 σ_t/σ_c についての一般限界比と同じ値となったが、 $\max. \sigma$ と σ_c は、コンクリート標準示方書 1 章 4 節 122 条 (3) および 21 章 170 条 (5) において $\sigma_{ca} \leq 0.3\sigma_{cf}$, $\sigma_{ca} \leq 60kg/cm^2$ と示されて

いるので、いま、安全率を 3 とみなせば $\max. \sigma$ は許容範囲内の値であるといえる。

接触巾について Mitcher⁶⁾ は $\phi 15 \times 30cm$ 供試体に対して巾は 40mm で、材料は厚いボール紙が最適であるとのべている。本実験において、 $\phi 10 \times 20cm$ 供試体に巾 2.0cm の硫黄分布層成形作業、分布層の材質および供試体の破壊状況などから、その巾は 2.0cm で十分であると考えられる。しかし、力学的関係による最適巾は、今後なお検討しなければならないが、実験結果からは 3cm 程度が望ましい。

5.4 変動係数

引張強度の変動係数を示すと Table 6 のとおりである。各供試体ごとの平均値は、基準供試体と基準成形供試体では、その差はなく、従って、供試体の側面に硫黄で加圧分布層を施した場合も、試験値の変動に対し影響はないものとみなされる。

コア原形供試体は、当然のことながら、ばらつきが

Table 6 Coefficient of variation

Method of loading	Kinds of specimen	Kinds of concrete						Mean values
		I-25	I-40	II-25	II-40	III-25	III-40	
A	a	11.1	9.8	3.6	3.3	3.3	1.8	a = 5.5 b = 12.5
	b	5.0	7.0	17.9	19.3	6.6	13.7	
	c	8.6	6.3	3.6	2.2	3.7	7.5	
	d	6.5	3.8	9.5	3.1	6.4	6.2	
B	a	10.7	4.7	8.3	2.8	4.7	1.6	c = 5.6 d = 6.9
	b	7.9	15.4	11.7	14.4	14.4	16.3	
	c	9.4	5.2	4.1	3.8	4.8	8.0	
	d	5.7	8.3	18.0	9.4	2.2	3.5	

Table 5 Max. bearing strength and contact width in case of curved surface loading

Kinds of concrete	Load P, kg	Tensile strength $\sigma_t, kg/cm^2$	Compressive strength $\sigma_c, kg/cm^2$	Young's modulus $E_1, \times 10^5, kg/cm^2$	Contact width b, cm		Max. bearing strength $\max. \sigma, kg/cm^2$		$\sigma_t/\max. \sigma$		Compressive strength of y-axis $\sigma_y, kg/cm^2$
					Original specimen	Formalized specimen	Original specimen	Formalized specimen	Original specimen	Formalized specimen	
I	5000	15.9	160~170	2.7	2.32	2.00	137	159	0.12 (1/8)	0.10 (1/10)	48
II	7000	22.3	220~270	3.4	2.94	2.00	152	224	0.15 (1/7)	0.10 (1/10)	67
III	9000	28.7	280~320	4.2	3.46	2.00	166	287	0.17 (1/6)	0.10 (1/10)	86

大きく、10%以上が2/3にも達したが、これに対し、コア成形供試体は基準供試体に近似した値を示し、変動係数の面においても加圧分布層の効果は認められた。

6. 結 言

本実験の結果えられた要項は次のとおりである。

(1) 側面状態の不整なコア供試体に対して、その側面に直線性をもたせる一方法として、硫黄で加圧分布層をほどこした結果、信頼性のある引張強度値をうることができた。

成形材料については、ウッドメタル、プラスチック系材料（6-ナイロン）など、現在、市販されているものもあるが、廉価で、成形作業が容易であり、加力関係においても良結果がえられることなどから硫黄分布層が適していると思われる。

(2) 補正係数は、原形コア供試体で引張強度を算定する場合の参考値として示した。しかし、側面形状および非接触比の測定など一般的には問題点もあるので、加圧分布層をほどこした成形供試体で試験することが望ましい。

(3) 曲面載荷方法は、成形供試体の設定上の操作は容易である。従来の平面載荷方法と比較してとくに異

なる現象はないが、この場合、力学的関係に対する安全性を考慮して、加圧分布層の巾は2.0~3.0cm程度が適切であると思われる。曲率については、直径200mmの場合に限定した結果であるので、例へば150mm、250mmの曲率に対する実験も行ない適正な曲面載荷方法を決定する必要があると考える。

(4) コア供試体の圧縮強度試験にあたり、加圧面の平行仕上げは容易でないので、本文記述の方法による引張強度の結果を圧縮強度に換算することも考えられる。

参 考 文 献

- 1) H.F. Gonnerman and E.C. Shuman; Proc. of ASTM, 28, Part I, 527 (1928)
- 2) 赤沢常雄：土木学会誌, 29, 777 (1943)
- 3) 内山 実：鉄道技術研究所彙報, 3, (1944)
- 4) 相原信夫：土木学会誌, 34, 33, (1949)
- 5) 園分正胤：土木実験, 技報堂, (1969), p. 163~土木学会, 第6回年次学術講演要旨 (1950)
- 6) N.B. Mitchell; Mat. Resear. & Standad, 1-10, P. 780 (1961)

(昭和46年4月13日受理)