

シュミットハンマーの単打および連打によるコンクリートの強度判定について

沢 田 守 雄*
兼 子 政 志*
沢 田 兼 二*

1. ま え が き

シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方法については多くの研究がなされているが、これらのほとんどが単打であって連打による資料は少ない。この実験ではプレキャストコンクリートの強度をシュミットハンマーを用いて推定する場合、単打と併せて多数回同一点を連打し、得られた反撓硬度から円柱供試体の圧縮強度を推定する方法を求めてみたものである。

2. 実験の方法

反撓硬度に影響すると思われる要因を取り上げ、おの

おのを3種類に分けた。その種類を表-1に示す。

(1) コンクリートの配合

セメントは早強ポルトランドセメントを使用した。粗骨材は碎石、細骨材は砕砂と山砂を重量比1:1で混合して使用した。

骨材の産地および試験結果は表-2のとおりである。

コンクリートの配合は表-3に示す。

コンクリートは工場で通常生産しているものを対象としたため混和剤は2種類別々に使用した。配合種別IとIIの混和剤はリグニンスルホン酸系の減水剤にAE剤を混合したものであり、IIIのものはβナフタリンスルホン酸系の減水剤である。

配合種別の選び方は設計基準強度を基としておのおの200 kgf/cm²、350 kgf/cm²、500 kgf/cm²を目標にした。

(2) 養生

水中養生を行った供試体はコンクリート打設後翌日脱型し、材令2日で工場内の流水中につけた。養生期間中の水温は10~15°Cであった。試験時には供試体を前日水中より引き上げ室内で気乾状態にして試験を行った。

気乾養生の供試体は脱型後室内に放置した。室内温度は0~25°Cの範囲であった。

促進養生では、供試体を型枠に入れたままの状態、コンクリート打込み後8時間で蒸気養生を行った。養生温度は、養生開始より3時間後に60°Cにし、その状態を4時間保ち、後脱型して気乾養生を行った。

なお、コンクリートの練混ぜ直後のコンクリート温度は15°Cであった。

(3) 供試体

表-1

種別	単位	I	II	III
配合(強度)	kgf/cm ²	200	350	500
養生		水中	気乾	促進
部材の厚み	cm	15	30	50
打撃方法		水中(自由)	下向(固定)	水平(固定)
材令	日	7	28	100
打撃回数	回	1	10	10-1

表-2

	産地	比重	吸水量 (%)	単位容積重量 (kg/m ³)	粗粒率
細骨材	福井県三国町山砂 敦賀市葉原砕砂	2.58	2.10	1680	2.68
粗骨材	敦賀市麻生碎石	2.69	0.73	1520	6.78

表-3

種別	粗骨材最大寸 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 w/c (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kgf/m ³)				
						セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
I	20	17	4	73	47.2	247	180	854	997	2.742
II	20	10	4	54	38.7	302	163	700	1157	3.352
III	20	5	2	36	42.0	420	151	754	1086	2.583

* 日本ビー・エス・コンクリート株式会社

反撓硬度測定使用の供試体は

配合の異なるもの	3 組……9 個
養生方法の異なるもの	3 組……9 個
部材の厚みの異なるもの	3 組……9 個

計 27 個

作ることとし、図-1 に示すように同一配合のものを 9 個 1 組で作れる型枠を 3 個製作した。

型枠は側枠、仕切枠とも 15 mm の合板を使い、はく離剤は油性のものを塗布した。

圧縮強度試験用供試体は 10×20 cm の円柱で

配合の異なるもの	3 組…27 個
養生方法の異なるもの	3 組…27 個
材令の異なるもの	3 組…27 個

計 27 組…81 個

作り、反撓硬度測定用供試体と同一条件で養生を行った。

1 組の圧縮強度試験には 3 個の供試体の平均値を用いることにした。

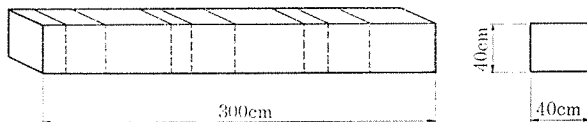


図-1

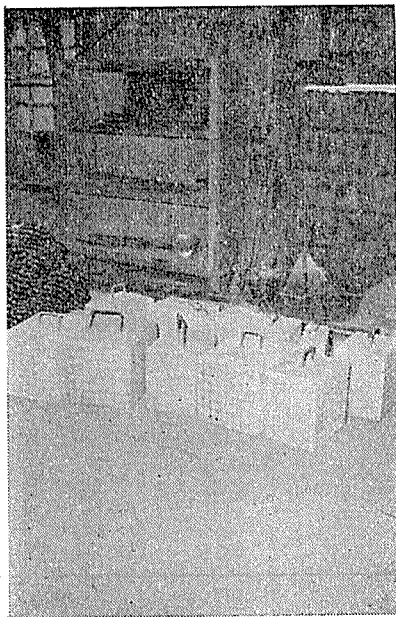


写真-1 気乾養生中の供試体

(4) 反撓硬度の測定

反撓硬度の測定は供試体 1 個につき

打撃方法の異なるもの	3 種類
材令の異なるもの	3 種類

とし、1 点の連打回数は 10 回で、毎回の反撓硬度を記録した。

打撃面は型枠の仕切枠に接した 2 面を用い、面を 5 cm 平方の基板目に区切った。測点は片面で任意の 5 点を区切線の交点に選び出し、測定値は両面の測定値の平均を 1 資料とした。

下向き打撃および水平（自由）試験は細砂を播いたコンクリート床上に置いた状態で行い、拘束力は加えなかった。

また、水平（固定）の試験では供試体へ打撃方向と直角方向に 3 t の鋼材荷重をかけた。

(5) シュミットハンマーのキャリブレーション

シュミットハンマーは N 型 2 台を使用し、試験時には 3 資料につき 1 回テストアンビルで補正值を求めた。

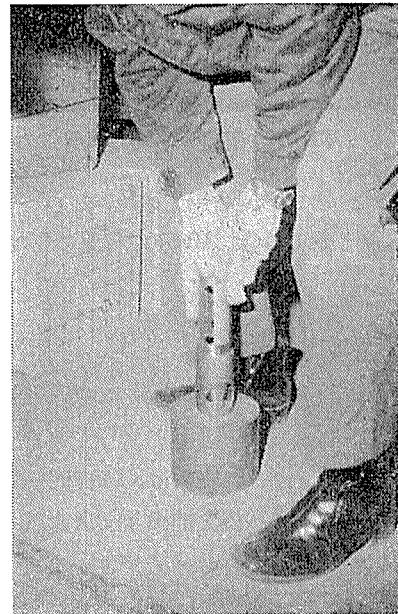


写真-2 キャリブレーション

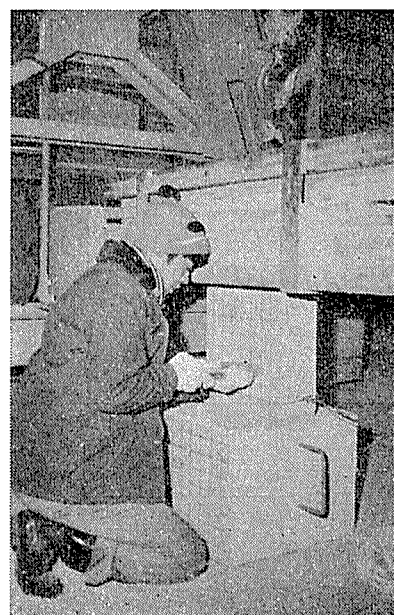


写真-3 水平（固定）打撃試験

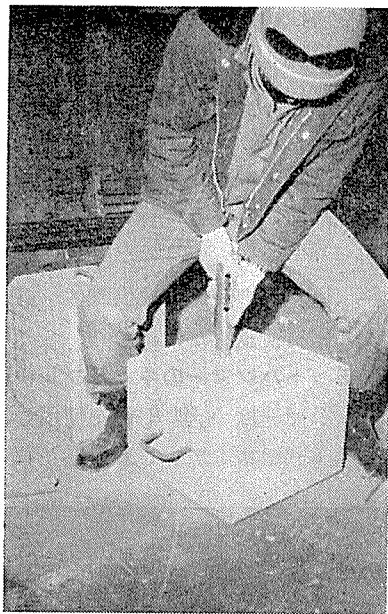


写真-4 下向打撃試験

テストアンビルによる反撓硬度 R_a は 77~80 と 83~84 であり、補正值 R_x は 10 点の打撃の平均値 \bar{R}_0 を用いて

$$R_x = \bar{R}_0 \frac{80}{R_a}$$

(ここで、 R_x は連打 x 回目の反撓硬度である) により求めた。

両シュミットハンマーの資料は、ほぼ同一数になるようにし、ランダムに供試体を抽出して求めた。

テストアンビルによるキャリブレーションはコンクリート床上に置いて行った。

3. 試験結果

(1) コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮強度試験結果は表-4 に示す。また表-5 はこれら算出した材令 28 日に対する 7 日、100 日の強度の割合を示してある。この表から富配合で促進養生を施したコンクリートは材令による強度の増加率が一番小さくなっている。

(2) 連打による反撓硬度の推移

反撓硬度については打撃回数 1 回と 10 回目の値を实

験計画法による直交わりつけで分散分析を行った。

分散分析で有意差が認められた要因を挙げると表-6 のようになり、打撃 1 回と 10 回目では同じ要因に高度の有意差が検出された。

交互作用による有意差は、打撃数 1 回の (配合) × (養生) を除いて主効果のものより小さく、(配合) × (養生) も 10 回目では小さくなっているため、ここでは主効果について検討を行った。

a) 配合の違いによる反撓硬度の推移 配合の種別

表-4 (単位: kgf/cm²)

配合種別	養生種別	材 令 種 別		
		I	II	III
I	I	160	215	215
		158	211	214
		152 (157)	206 (211)	209 (213)
	II	162	197	186
		154	178	222
		152 (156)	172 (182)	188 (199)
III	182	216	236	
	178	211	225	
	176 (179)	204 (210)	208 (223)	
II	I	302	387	372
		302	344	369
		295 (300)	343 (358)	354 (365)
	II	253	290	350
		250	338	341
		242 (248)	304 (311)	313 (335)
	III	314	362	373
		313	353	371
		313 (314)	335 (350)	368 (371)
III	I	542	618	662
		535	606	662
		531 (536)	590 (605)	658 (661)
	II	499	531	543
		455	531	569
		483 (479)	507 (523)	528 (547)
	III	522	579	570
		517	544	565
		494 (511)	541 (555)	551 (562)

表-5 (試験値の単位は kgf/cm²)

配合および養生の種別		I			II			III		
材	令	7	28	100	7	28	100	7	28	100
配 合	試験値の平均	164	201	212	287	340	357	509	561	590
	強度の割合	0.816	1.00	1.05	0.844	1.00	1.05	0.907	1.00	1.05
養 生	試験値の平均	331	391	413	294	339	360	335	372	385
	強度の割合	0.846	1.00	1.06	0.867	1.00	1.06	0.900	1.00	1.03

表-6

打 撃 回 数		1			10			F
		自由度 ϕ	不偏分散 V	分 散 比 $F_0(=V/V_e)$	自由度 ϕ	不偏分散 V	分 散 比 $F_0(=V/V_e)$	
主 効 果	配 合	2	1 690	909**	2	409	133**	$F(2.58 : 0.01)$ =4.99
	養 生	2	76	41**	2	72	23**	
	部 材 の 厚 み	2	16	8.6**	2	40	13**	
	打 撃 方 法	2	39	21**	2	28	9.1**	
	材 令	2	115	62**	2	28	9.1**	
交 互 作 用	(配 合) × (養 生)	4	170	91**	4	25	8.8**	$F(4.58 : 0.05)$ =3.16
	(養 生) × (材 令)	4	8.2	4.4**	—	—	—	$F(4.58 : 0.01)$ =3.66
	(部材の厚み) × (材令)	4	5.9	3.2*	4	12	3.9**	$F(4.62 : 0.01)$ =3.64
誤 差 V_e		58	1.86		62	3.07		

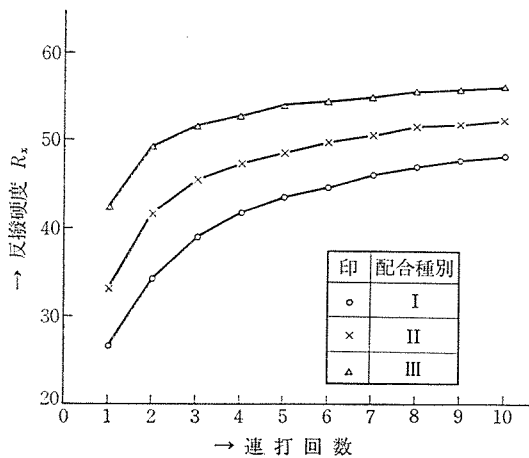


図-2

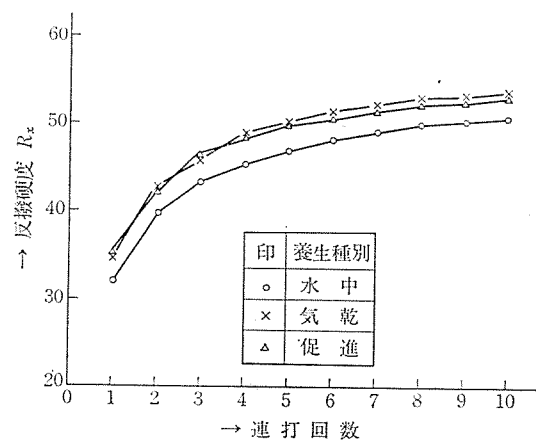


図-3

ごとに反撥硬度を求め、連打回数と反撥硬度との関係を示したのが 図-2 である。

図-2 から次のことがいえる。

- 1) $R_1 \sim R_{10}$ の間で、常に富配合の R_x は貧配合のものより大きい。
- 2) 富配合の反撥硬度は貧配合のものより連打による増加量は小さい。
- 3) 富配合と貧配合との反撥硬度差は R_1 が最大で、連打を重ねるにつれて小さくなっていく。
- 4) 各配合の連打による反撥硬度の増加量は R_1 と R_2 の間が大きく、連打回数を増すことにより一定値へ漸増する傾向にある。

b) 養生方法の違いによる反撥硬度の推移 a) と同様の方法で養生の種別ごとの反撥硬度と連打との関係を求めたのが 図-3 である。

養生種別間の反撥硬度の変量差は連打によりわずか増加するが、この値は連打5回位で一定値におさまっている。

また、連打に関係なく気乾養生の反撥硬度は水中養生したものより大きくなっており、促進養生と気乾養生は

よく似た値を示している。

c) 部材の厚みの違いによる反撥硬度の推移 部材の厚みの違いによる反撥硬度と連打の関係を 図-4 に示す。

部材の寸法が薄くなると反撥硬度は小さくなるが、寸法 30 cm と 50 cm とでは差がなくなっている。この傾向は連打を続けても変っていない。

寸法の違いによる反撥硬度の変量差は、単打より連打

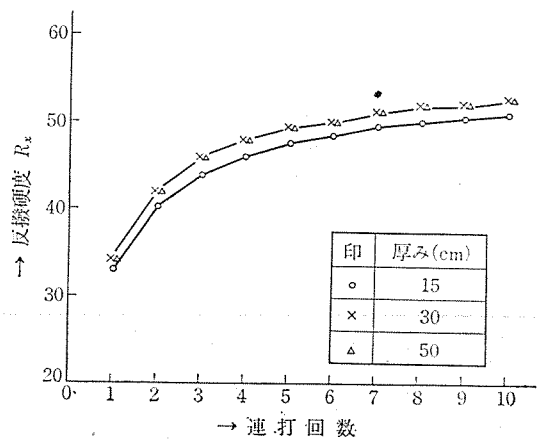


図-4

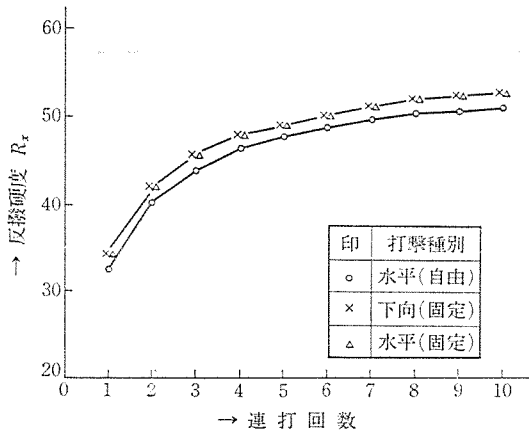


図-5

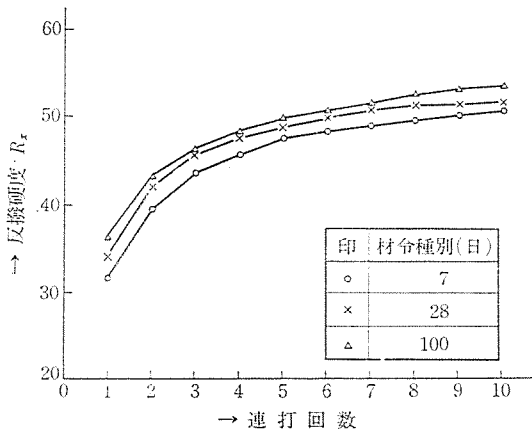


図-6

の方がわずか大きくなるが、連打 2~10 回の間では変化がない。

d) 打撃方法の違いによる反撓硬度の推移 打撃方法の種別ごとの反撓硬度と連打の関係は図-5 に示すように、打撃種別による反撓硬度の差は連打によっても変化していない。これは一定の打撃方向の連打ではシュミットハンマー内の重りのはねかえり量が同じであり、また、測定部材の支持条件による反撓硬度の変量も一定であるからと思われる。

e) 材令の違いによる反撓硬度の推移 材令の違いによる反撓硬度の推移を 図-6 に示す。

反撓硬度の変量差は材令 28 日と 7 日間では連打により小さくなり、28 日と 100 日とでは大きくなったが、1 回目と 10 回目との比較値では 10 回目がわずか小さくなる程度であった。

f) 連打による反撓硬度のばらつき コンクリートの

表面は連打によりシュミットハンマーのプランジャーの先端に接する面のくぼみが大きく、また固くなっていく。連打の途中でこの点が破壊し打撃エネルギーが吸収されて測定硬度が低下する場合があるが、連打を続けることによりただちに回復することが認められた。

表-7 は材令 7 日で得た測定値の不偏分散の平方根 \sqrt{V} を配合別に求めたものである。 \sqrt{V} は連打 2~3 回目が大きく、あとは次第に小さくなっている。この収束の傾向は富配合ほど早い。

4. 反撓硬度と圧縮強度の関係

配合および材令の種別ごとに打撃回数 1, 2, 3, 5, 10 回目の反撓硬度を求め、圧縮強度試験から得られた強度と対応したのが 図-7 である。

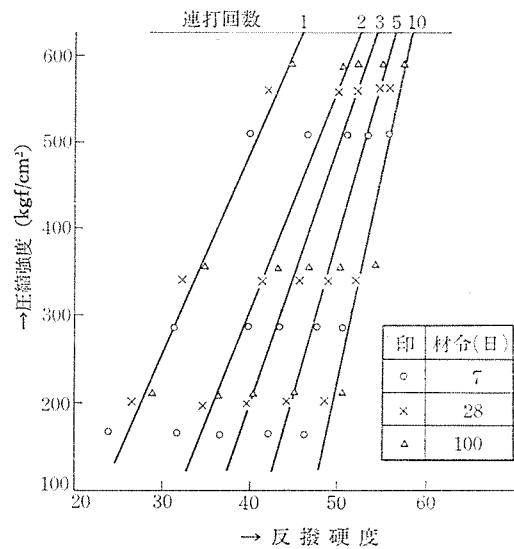


図-7

反撓硬度から圧縮強度を推定する直線は連打によってはじめは大きく移動し、回数を増すごとに移動量は減っていくが、勾配は急となる。

200 kg/cm² 以上の圧縮強度 σ_x と反撓硬度 R_x との関係をも最小 2 乗法により直線式で求めれば

$$\text{単打 } \sigma_1 = -441 + 23.4 R_1 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{連打 } \sigma_{10} = -2054 + 46.0 R_{10} \dots\dots\dots (2)$$

を得た。

式 (1), (2) より連打と単打との差を求めると

$$\sigma_{(10 \sim 1)} = 1236 - 47.7(R_{10} - R_1) \dots\dots\dots (3)$$

となる。

表-7

連 打 回 数		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
配 合 I		2.5	3.0	3.4	3.2	3.1	2.8	2.7	2.7	2.8	2.6
配 合 II		3.1	3.9	3.7	3.7	3.1	3.1	3.5	3.3	3.1	2.9
配 合 III		3.6	4.2	3.2	2.7	2.8	2.7	2.5	2.3	2.3	2.1

式(1), (2) を書き各要因による測定値を打点したのが、図-8 (養生種別), 図-9 (打撃種別), 図-10 (厚み) である。

反撈硬度に影響する因子は非常に多く、試験時までのコンクリートの経歴や品質がわからないと、単打による強度推定値はかなりの誤差を伴うことがある。図-8~10

の各測定値は散ばっており、これらの圧縮強度を推定する場合 100 kg/cm² 以上の差を生ずるものが多くある。

1) 図-7~10 より単打時反撈硬度の小さいものは連打も小さい。

2) 高強度となるにつれて連打による反撈硬度の増加量は小さくなる。

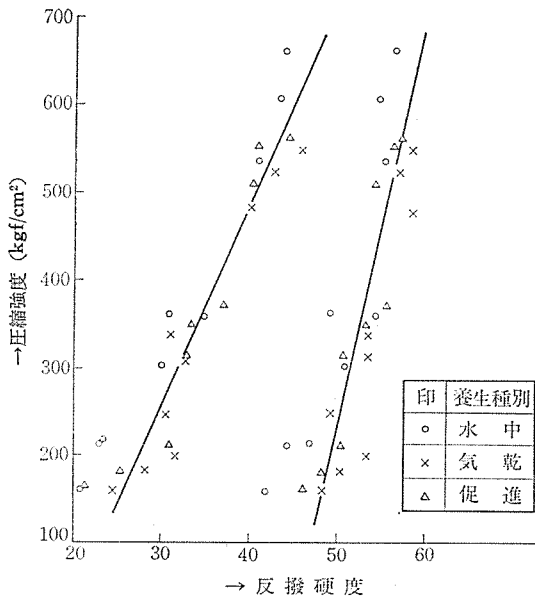


図-8

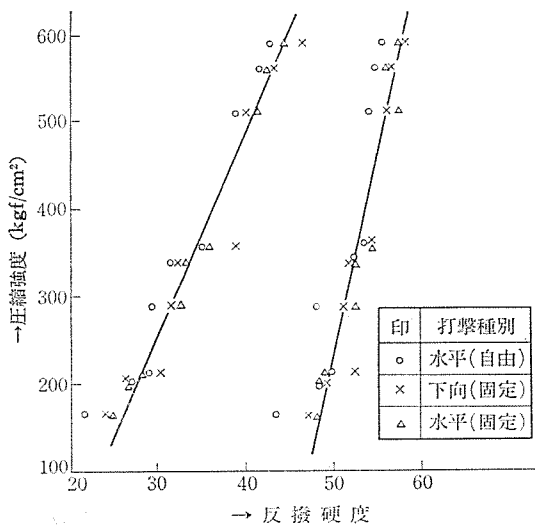


図-9

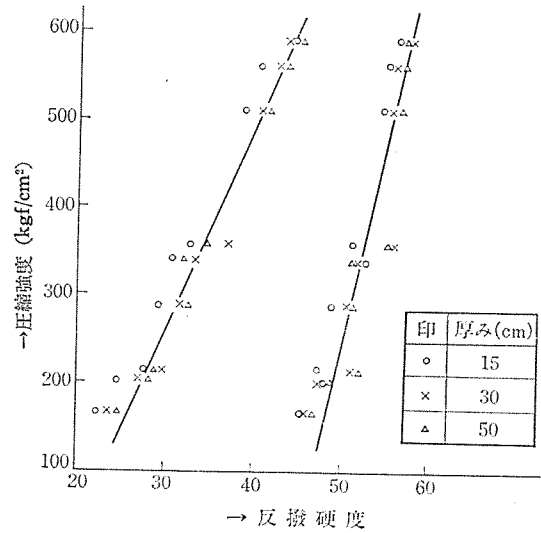


図-10

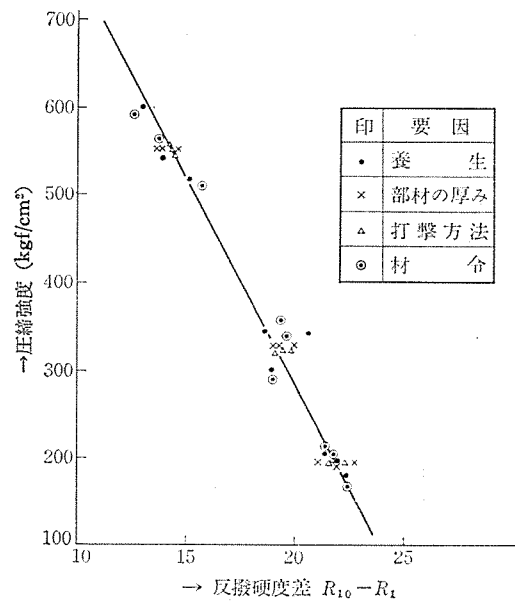


図-11

表-8

式 種 別 要 因	(1)			(2)			(3)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
配 合	-7.5	-1.0	8.4	-4.0	0	4.1	3.4	0.9	-3.6
養 生	-2.0	1.0	1.0	-2.0	1.3	0.6	0	0.4	-0.4
部 材 の 厚 み	-0.9	0.4	0.4	-1.4	0.8	0.5	-0.5	0.4	-0.1
打 撃 方 法	-1.5	0.6	0.9	-1.1	0.4	0.6	0.4	-0.2	-0.3
材 令	-2.3	-0.1	2.3	-1.5	-0.1	1.7	0.7	-0.1	-0.7

3) 図-3~6 から、各種別間の反撓硬度差は連打してもあまり変わらない。

1), 2), 3) から式(3)は養生、部材厚、打撃等の影響の大部分を消去したものであるといえる。

各要因ごとに測定の平均値と式(3)とを比較すると図-11 のようになり、式(3)でもコンクリートの圧縮強度を推定することができる。

分散分析による各因子の平均値からの偏差値は表-8 に示す。

5. あとがき

プレストレスト コンクリート等で実用に供されている高強度コンクリートでは、一般に使用されているシュミットハンマーによる推定強度が圧縮強度試験から得られた強度を大幅に下まわるのが現状なので、両者の値を近づけるために式(1)を導いた。この式は他の多数の実験式よりも高強度の場合は推定強度が大きくなる。これのチェックのため、試験器具、コンクリート材料および製造設備の異なった圧縮強度のわかっているプレストレスト コンクリートの反撓硬度と式(1)を比較してみ

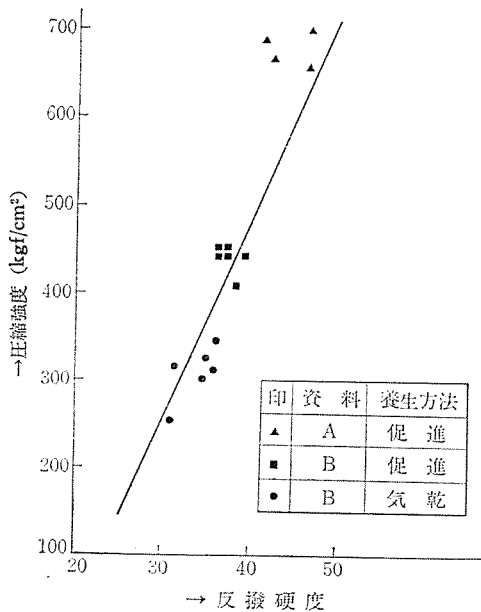


図-12

表-9

部 材 厚 (cm)	打 撃 方 向	単 打 値 R ₁	連 打 値 R ₁₀	R ₁₀ -R ₁
6	水 平	36	54	18
11	下 向	28	46	18
圧縮強度試験による強度			400 kgf/cm ²	
式(3)による推定強度			370 "	

たところ 図-12 に示すような結果であった。

式(3)について、プレテンションホロー桁の中空部で追試した結果は表-9 に示す。これから、実験より薄い部材でも適用できると考える。

材令の大きいコンクリートは単打の値が大きく、連打によっても反撓硬度の増加量が少ないので、式(1)、(3)とも推定強度が非常に高くなるため不相当である。おおよその見当をつけるためならば式(2)が妥当ではないかと思われる。

参 考 文 献

- 1) 木村恵雄：シュミットハンマーによるコンクリート強度の判定について，材料試験，5，38，昭 31.11
- 2) 明石外世樹：シュミットハンマーによるコンクリートの反撓硬度試験について，立命館大学理工学研究所紀要 2，1957
- 3) シュミット・テストハンマー（普通コンクリート用 NR 型，N 型）取扱説明書
- 4) 坂 静雄，松井敏夫：表面硬度法による実施コンクリートの強度判定法，セメント技術年報，XI，昭 30
- 5) 伴 潔，木村恵雄：打撃硬度試験によるコンクリート強度の判定，セメント技術年報，IX，昭 30
- 6) 木村恵雄：シュミットハンマーによるコンクリート強度判定上の二，三の問題，セメント技術年報，X，昭 31
- 7) 林 正道，前川静男，沖野俊広：シュミットハンマーによるコンクリート既製品の試験方法，セメント技術年報，XX，昭 41
- 8) 日本材料試験協会実施コンクリート強度判定委員会：シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方法指針（案），材料試験，7.59，昭 33
- 9) 坂 静雄，明石外世樹：シュミットハンマーの各個誤差および較正法について，セメント技術年報，XV，昭 36
- 10) プレストレスト コンクリート工業協会九州支部生産技術部会，シュミットハンマー試験報告書，昭 43
- 11) 野上又二郎，石井義勝：コンクリート工事の検査，木村書店

1976.5.12・受付

◀ 刊行物案内 ▶

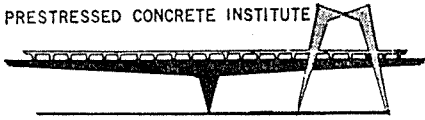
プレストレスト コンクリート橋の設計施工上の最近の諸問題

A 4 判 116 ページ

定 価：1500 円 送 料 400 円

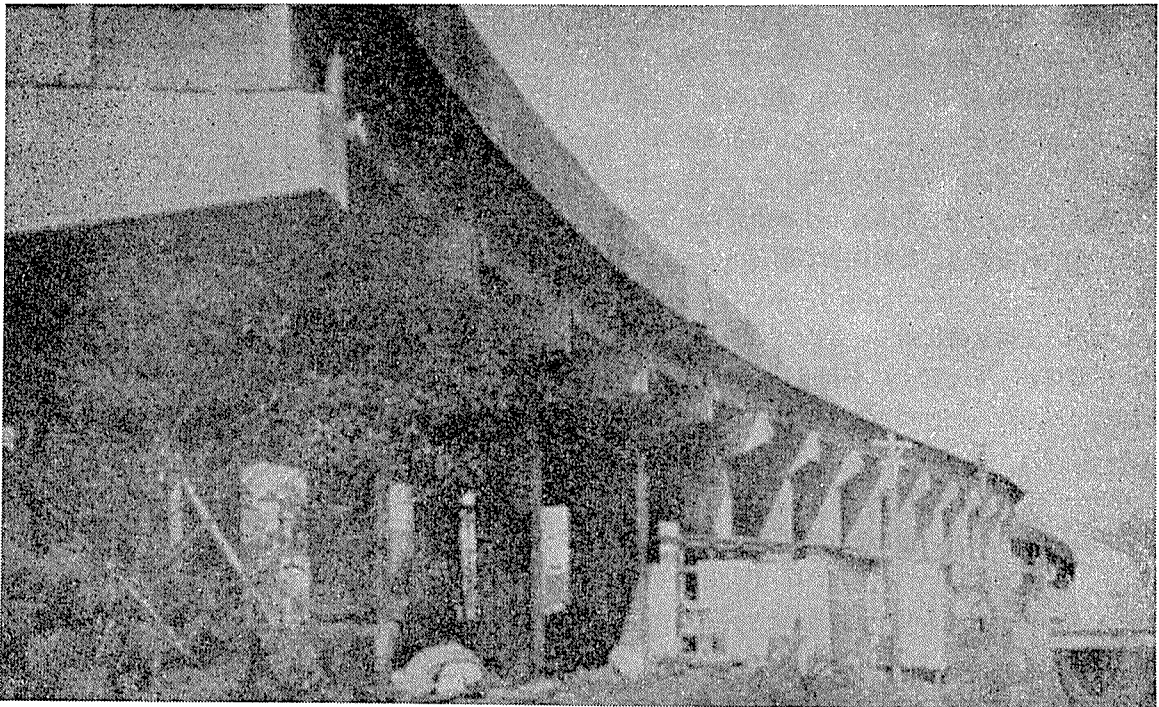
内 容：(1) PC 橋の施工開始前の諸問題，(2) PC 橋の工事ならびに施工管理について，(3) 新しい PC 設計方法について，(4) 最近の話題の橋梁

MEMBER
PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE



興國のPC鋼線

鋼線・より線・異形線



★興國のPC鋼線・より線・鋼棒は国内はもとより海外の土木・建築に好評を得ております★



日本工業規格表示工場 B. B. R. V. 工法用鋼線認定工場 P. C. I. (アメリカP. C. 協会) 会員

興國鋼線索株式会社

本社	東京都中央区宝町2丁目9番地 宝町清水ビル	電話	東京 (561) 2171代表
大阪営業所	大阪市西区阿波通り1の67の1 大急ビル550	電話	大阪 (541) 3595代表
東京工場	東京都江東区亀戸町九丁目19-15号	電話	東京 (681) 5371代表
大阪工場	大阪府貝塚市堤300番地	電話	岸和田貝塚(3)3701代表
新潟工場	新潟県加茂市上条1369番地	電話	加茂(2)0280代表