

## [1037] 引抜き試験による現場打ち高強度コンクリートの構造体強度評価

正会員 森田 司郎（京都大学工学部）

正会員 ○小松勇二郎（京都大学工学部）

正会員 近藤 實（三井建設技術研究所）

### 1. 序

高強度コンクリートの実用化に当たっては、所用強度が実構造体中で発現していることの確証が重要度を増す。この観点から下層部のSRC造柱に高強度コンクリートを用いた高層建築物の施工時に、コンクリート強度管理のための試験法として、標準シリンダーによる圧縮試験以外に、柱部分の構造体コンクリートを直接試験可能な引抜き試験を実施した。約1年間にわたる工事期間中のコンクリート強度管理データを示し、引抜き試験の有効性と問題点を明らかにした。

### 2. 構造物の概要

実施構造体は、36階超高層集合住宅である。柱は現場打SRC造、外周梁はS造、床梁はアーチキャストアンドボンドPS造、住戸内床は現場打RC造である。柱コンクリートは17F以下で普通コンクリート、18F以上は第1種軽量コンクリートであり、その設計基準強度は1～5F 360kgf/cm<sup>2</sup>、6～9F 330kgf/cm<sup>2</sup>、10～13F 300kgf/cm<sup>2</sup>、14～17F 270kgf/cm<sup>2</sup>、18～27F 240kgf/cm<sup>2</sup>、28～36F 210kgf/cm<sup>2</sup>である。1F以上のコンクリート工事の工期は7月から翌年の8月にわたっている。11～2月の間は30～45kgf/cm<sup>2</sup>の温度補正が行われている。

### 3. 引抜き試験の実施方法

図-1に引抜き試験の実施手順を示す。引抜き試験の際、反力リングと加力プレートにより定められる円錐台の頂角が67°となるよう各用具の寸法を定める。図-1に記入した寸法は構造体柱試験用(小型)のものである。試験手順は

- ① 加力プレート(厚手の座金)と高力ボルトをスペーサー(塩ビパイプ等)を用いて、所定の深さになるよう型枠に取り付けコンクリートを打設する。
- ② 脱型後高力ボルトがコンクリート面より突出した状態となる。
- ③ アダプターナット、反力リング、計力装置を装着して引き抜く。(小型はハンド大型は油圧ジャッキ使用)
- ④ 最大耐力を求め、引き抜かれたコーンの破壊面を観察し、粗骨材破壊状態、空隙等を調べて異常データは除去する。

表-1に示す大型、小型の2種類の引抜き具を用いた。小型はかぶりコンクリート内で試験可能な寸法として定めたものであり、建築物に使用される最大骨材粒形

20～25mmのコンクリートに対してはほぼ最小限度である。大型は小型の寸法を全て2倍したものである。

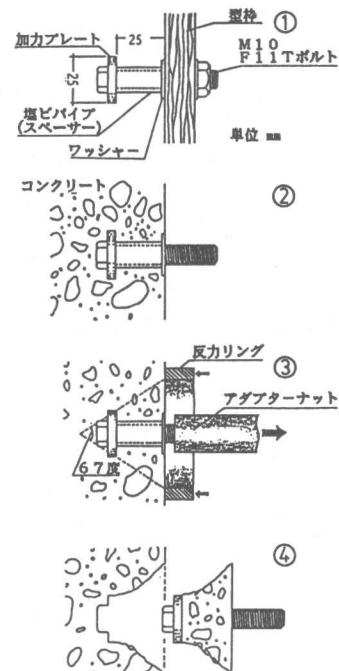


図-1 引抜き試験実施手順

表-1 引抜き試験の寸法関係

サイズ	埋込ハイテンボルト	加力プレート埋込み深さd	加力プレート外径r	反力リング内径R	コーン頂角α
大	M20	50mm	50mm	116mm	67°
小	M10	25mm	25mm	58mm	67°

#### 4. 引抜き試験の特性を調べるための実験

##### 4-1 実験計画

大型、小型引抜き試験の寸法の影響調査のため、図-2に示すように高さ 80cm、断面650×650cmの柱型試験体（後述の工事用管理試験に用いるものと同じ試験体）の側面に大型を 16本、小型を 32本 セットした。引抜き及び切取りコアの試験を28日と91日材令で実施した。普通コンクリート4種、軽量コンクリート2種の調合を表-2に示す。

推定精度の検討と推定式決定のための試験体は、柱型試験体に加えて、普通コンクリート打設範囲で呼び強度が異なる階を選んで3回、柱型試験体と同一バッチのコンクリートから 図-3、図-4に示す壁型、床型試験体（いずれも 120cm×120cm×厚さ21cm）を1体ずつ作製し、小型引抜き強度とコア圧縮試験結果との対応を調べた。壁型、床型試験体を追加した理由は、柱型試験体が大断面のため、水和熱と表面乾燥の影響によって表層部と内部でコンクリート強度が異なる可能性があり、できるだけ均一な品質の試験体を得るためにある。よって壁型、床型試験体は湿布養生とした。柱型試験体は構造体との対応を考慮して気中養生とした。

床型試験体については28日材令で小型引抜き18本、中10押し抜きシリンダ-8本、中10コアシリンダ-8本を試験した。壁型試験体については28日材令と91材令で小型引抜き9本、中10コアシリンダ-を8本づつ試験した。また 28材令、91材令で標準養生シリンダ-と現場水中養生シリンダ-を3本づつ試験した。

##### 4-2 実験結果と圧縮強度推定式

図-5,6,7,8 に普通、軽量コンクリートおよび大小引抜き試験別の、コア強度と引抜き強度の相関を示す。ただし特殊な部位に対する試験結果とデータ数のバランスがとれない場合は全て除外した。すなわち柱型試験体の上部コアと最上部下部の小型引抜き、壁型試験体の最上部コアと最上部小型引抜き、床型試験体のコアと小型引抜きの試験結果は除外した。大型引抜き試験の場合には、上部引抜き試験（番号①,②）の平均値と 採取コアの上部（C1）

を対応させ、下部引抜き試験（番号

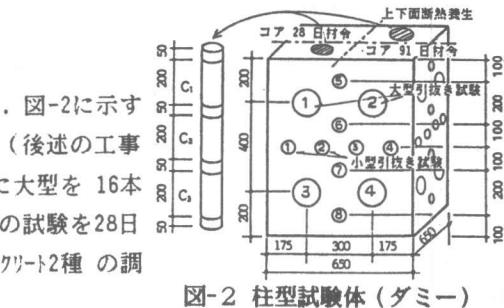


図-2 柱型試験体（ダミー）

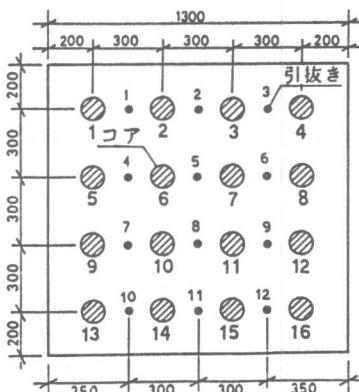


図-3 壁型試験体

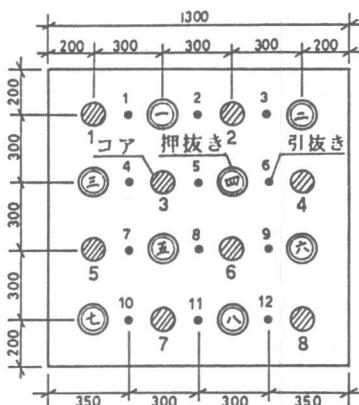


図-4 床型試験体

表-2 コンクリート調合と試験体数

③,④) の平均値とコア中、下部（C2, C3）の平均値を対応させた。回帰直線には原点を通る直線という条件を与えた。

大型、小型両引抜き試験ともコアによる圧縮強度と良い相関を示す。図中に示した相関式の荷重Pの係数は

最小2乗法により求めたものを、推定

種類	No.	呼び強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	W/C (%)	W/C (%)	調合 (kg/m <sup>3</sup> )				
					セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
普通	1	360	40.0	38.8	463	185	635	1049	1.158
	2	345	42.0	40.1	436	183	666	1046	1.090
	3	330	44.4	41.1	411	181	694	1044	1.028
	4	315	46.0	42.0	393	181	714	1038	0.983
軽量	5	240	50.0	48.5	342	171	840	435	0.855
	6	210	54.0	49.3	315	170	878	440	0.788

\* ポリス N. 70 添加  
\* マイティーFD 添加

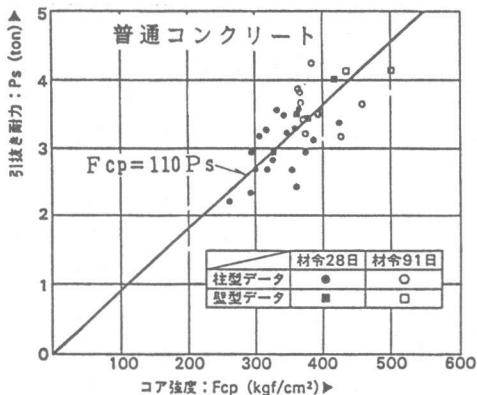


図-5 普通コンクリート小型引抜きとコア強度

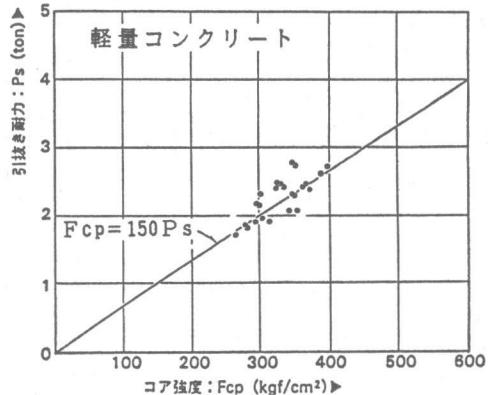


図-6 軽量コンクリート小型引抜きとコア強度

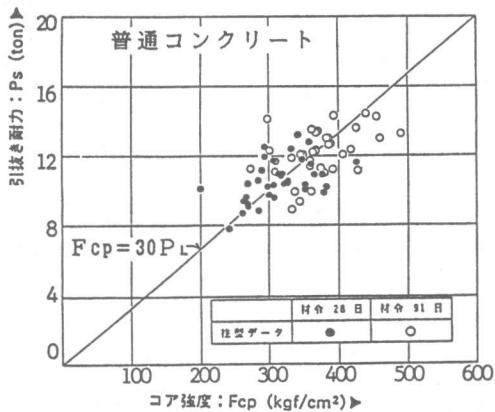


図-7 普通コンクリート大型引抜きとコア強度

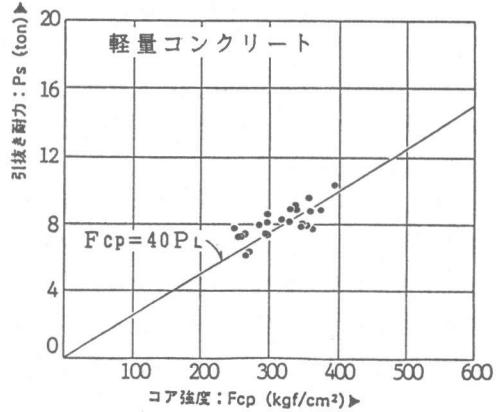


図-8 軽量コンクリート大型引抜きとコア強度

式としての適用し易さを考慮して、有効数字 2桁にまとめた。

#### 4-3 圧縮強度の推定とその精度

表-3 に床、壁およびこれらと同時に製作した柱型試験体の引抜き試験結果、並びにコアおよび同時作製の各シリカー圧縮試験結果の平均値とその変動係数を示す。引抜き試験の強度欄は、図-5 図-7の小型引抜き強度とコアの相関式  $F_{cp} = 110P$  (普通コンクリート),  $F_{cp} = 150P$  (軽量コンクリート)

( $F_{cp}$ ; 推定圧縮強度,  $P$ ; 引抜き最大耐力) に基づく推定圧縮強度である。

現場品質管理試験を含めたモールドシリカーの試験結果の変動係数は、平均約 4%、コア試験結果の変動係数は約 6%、大型引抜き試験結果の変動係数は約 10%、小型引抜き試験結果の変動係数は約

表-3 平均強度と変動係数

試験 試験 体	品質管理試験 標準 現場 水中 養生	圧縮試験						引き抜き試験(小型)						引抜き試験 (大型)							
		モールド シリカー			床型試験体			壁型試験体			柱型試験体			床型試験体			壁型試験体			柱型試験体	
		湿	布	養生	湿	布	養生	気中	湿	布	養生	側面	湿	布	養生	側面	側面	側面	側面	側面	側面
材 令(日)	28	28	28	28	28	28	91	28	91	28	28	上面	28	28	28	91	28	91	28	91	28
1回のデータ数	3	3	8	8	8	6	6	3	3	12	12	9	9	12	12	8	8	8	8	8	8
1回 平均強度 $M_{cp}$	388	332	342	388	368	342	364	436	325	343	271	359	387	452	297	425	288	369			
変動係数 %	4.4	2.0	3.7	4.4	5.7	6.6	4.4	5.0	14.7	11.6	10.0	8.0	14.1	18.7	19.8	8.3	8.1	6.4			
2回 平均強度 $M_{cp}$	485	384	388	379	377	404	418	501	356	344	249	407	441	455	363	398	348	380			
変動係数 %	2.4	1.9	5.1	3.5	6.0	4.4	1.7	1.4	3.8	3.8	8.1	9.0	10.2	8.9	17.3	13.7	12.3	8.3			
3回 平均強度 $M_{cp}$	471	378	377	344	327	339	375	454	343	191	387	375	403	274	352	317	392				
変動係数 %	2.6	1.2	2.4	3.6	7.6	3.4	6.6	2.6	8.6	8.6	15.2	10.6	7.9	15.9	19.2	13.7	11.3	11.5			
平均変動係数 %				3.77					5.75						12.7			9.65			

13% である。抽出サンプル  $n$  個の平均値の変動係数は母集団の変動係数の  $1/\sqrt{n}$  であるから、変動係数から判断して大型引抜き 2~3本、小型引抜き 3~4本 の平均値がコア1本の試験に匹敵すると考えられる。つまり破壊コンクリート範囲の大きい大型の方が、同一コンクリートに対する個々の引抜き試験結果の変動は小さく推定精度は高い。

柱型試験体、壁型試験体の引抜き試験結果は、打ち込み高さの影響を受けていると考えられるのに対して、床型試験体の上面、下面を、それぞれ別個に均一なコンクリートと考えた場合には、そのような要因は含まない。これに対する小型引抜き試験のデータは 平均 10% の変動係数をもつ。これはモールドシリンダー試験の変動係数 3~4% と対応する引抜き試験固有の変動係数に近い値と考えられる。

引抜き試験の大型と小型を比較すると、小型のものでもコンクリート品質の判定に十分使用可能であり、著者らが既往の実験（大型）で得た知見がそのまま適用可能である。

壁型試験体の試験結果は柱型試験体の試験結果に対して、コア強度が平均 16%，引抜き強度は平均 20% それぞれ上昇し、柱型試験体の強度発現に対する水和熱と乾燥の影響は大きい。

壁型試験体側面の引抜き強度（最上部を除外した平均値）を 100% とすると、床型試験体の上面での引抜き強度は、これに対して 59%，下面是 96%（それぞれ3回の平均）となり、上面の強度低下率が大である。

##### 5. コンクリート強度の管理試験とその結果

構造体柱部分に用いたコンクリートの強度管理のために、表-4 に示す6種類の管理試験を実施した。図-9に基準階の引抜き試験実施柱の位置を示す。図-10 にその柱についての試験箇所を示す。引抜き試験 6本 平均で1回の試験とした。

図-11に管理試験結果（表-4の試験結果番号④⑥⑦⑧⑨⑩⑪）の変動状況を示す。各試験結果について、工区毎に対設計基準強度比を求め、その平均値、標準偏差、変動係数を表-5に示す。標準養生シリンダーについては対呼び強度比とした。

普通コンクリートの28日材令に

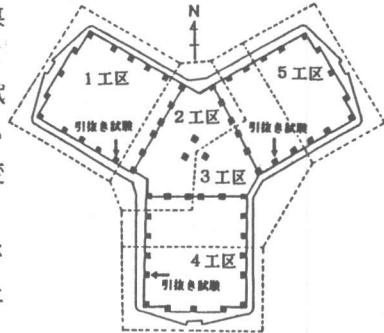


図-9 引抜き試験実施柱位置

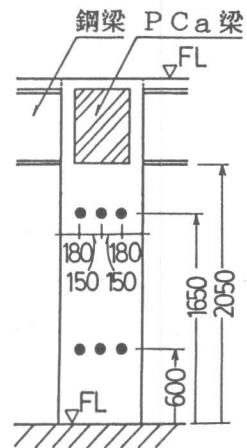


図-10 柱引抜き試験箇所

表-4 コンクリート強度管理試験一覧

試験の種類	コンクリートの種類	養生方法	試験頻度	試験材令	試験体数	総試験回数	試験結果番号
(1) 荷卸地点におけるレーミキストコンクリートの品質試験	ベースコンクリート	フランク標準養生	100m <sup>3</sup> に1回 17071~2回	7日	3	40	①
				28日	3	40	②
(2) 現場受け入れ時ににおけるレーミキストコンクリートの品質試験	〃	現場標準養生	1日1回 17075~6回	7日	3	145	③
				28日	3	181	④
(3) 構造体コンクリートの品質試験 (パケット投入前)	流動化コンクリート	現場水中養生	1日1回 17075~6回	7日	3	181	⑤
				28日	3	181	⑥
(4) タミー(柱型)試験 体からのコの切取り圧縮試験	〃	現場気中養生	17071回	28日	3	32	⑦
				91日	3	15	⑧
(5) タミー(柱型)試験 体表面での引抜き試験	〃	〃	〃	28日	16	31	⑨
				91日	16	31	⑩
(6) 構造体柱表面での引抜き試験	〃	表面散水養生	17073回	28日	6	105	⑪

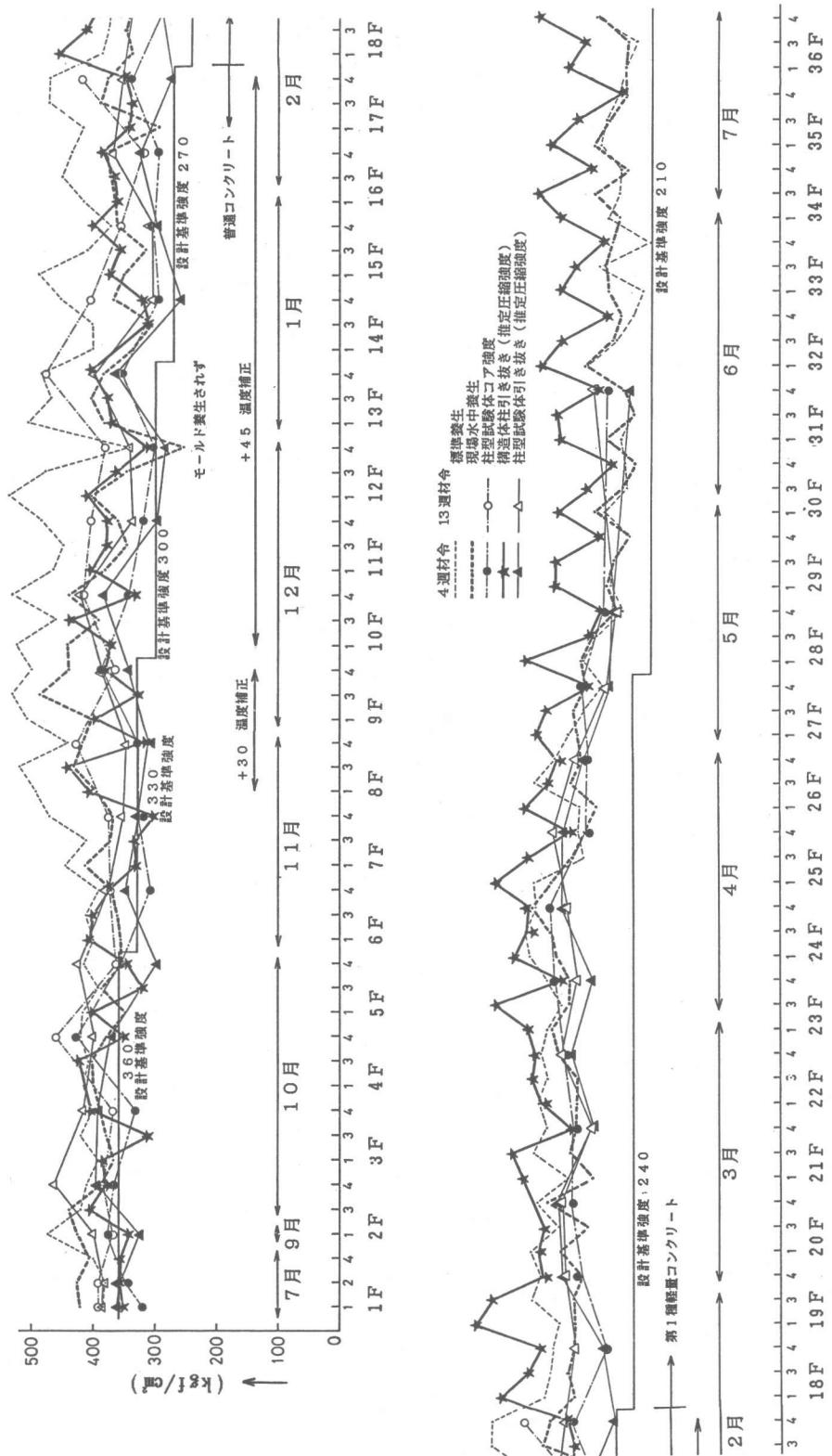


図-11 工期順管理試験結果の変動

表-5 各種試験結果の対設計基準強度比

おける各試験結果の対設計基準強度比の平均値を比較すると現場水中養生シリンダーが21%のマージンを有するが、柱型試験体のコアと引抜き試験の結果は3~5%の強度増に止まっている。91材令に至れば、コア強度は23%，柱型試験体表面引抜きは17%の余裕を示す。構造体柱では材令7日脱型後最低1週間散水養生を行っているが、これを反映して構造体柱引抜き試験結果は柱型試験体のそれより10%以上上回っている。

#### 軽量コンクリート(18F以上)に関する

しては設計基準強度が常用のレベルとなったことや施工業の安定化とともに、十分な余裕と極めて安定した管理が行われている。各試験結果の対設計基準強度比平均値は現場水中養生シリンダー28日強度で36%，柱型コア28日強度で39%の余裕を示す。構造体引抜き試験の結果は64%，柱型試験体表面の引抜き試験結果は35%の余裕を示す。

各種強度試験結果から本工事に於ける構造体コンクリートは、91日材令以後全階に渡って十分設計基準強度を満足していると判断される。ただし部材断面が大，高強度（単位セメント量増大），暑中コンクリート、という3条件が重なる1F~5Fに於て、設計基準強度に対する余裕度が小さい。高強度コンクリートの夏期施工に当たっては、高い生コン温度、水和熱、表面乾燥等の影響を考慮にいれ、慣行の現場水中養生による管理のみでは不十分であることを認識する必要がある。

#### 8.まとめ

本研究から得られた結果を要約すると

- 1) 引抜き試験は生コンの品質、打設締め固め、養生等の、総決算としての構造体コンクリート強度試験法として、推定精度、簡易性、所用時間、コストの見地から見て最も有効な方法である。
- 2) 養生が表層コンクリートの品質に与える効果を敏感に反映する試験法である。
- 3) 均一と考えられるコンクリートに対する引抜き強度は、10%程度の変動係数を示す。したがってある位置のコンクリート強度を推定するためには、コアシリンダーの3~4倍の試験数が望ましい。
- 4) 打設後1~3日程度の早期強度判定や脱型材令の判定、さらに数ヶ月以上の長期強度の推定にも有効、確実な試験法である。
- 5) 本工事で採用した、引抜き試験法を組み込んだコンクリート強度管理法は構造体コンクリート強度の確実な管理システムとして推奨される。

本研究は文部省科学研究費補助金（試験研究）によった。実験の遂行に当たっては三井建設現場担当者の方々に多大なる協力を得た。ここに謝意を表します。

参考文献 1) 小松、近藤、森田「引抜き試験法による構造体コンクリート強度の推定とその精度」；日本建築学会大会学術講演梗概集(1986)1068  
2) 小松、近藤、森田「引抜き試験の構造体コンクリート品質管理への応用」；日本建築学会大会学術講演梗概集(1987)1305

試験		1) 標準養生 シリンダー 圧縮強度 3本平均	現場水中養生 シリンダー 圧縮強度 3本平均	柱型試験体 コア 圧縮強度 3本(一部2本)平均	柱型試験体 引抜き試験 推定圧縮強度 12本平均	構造体柱 引抜き試験 推定圧縮強度 6本平均
普通 コンクリート 材令 4週	試験回数 平均値 標準偏差 変動係数	8.7 1.30 0.137 10.6 (%)	8.7 1.21 0.131 10.8 (%)	20 1.05 0.106 10.1 (%)	2) 1.9 1.03 0.118 11.5 (%)	3) 4.9 1.16 0.160 13.8 (%)
軽量 コンクリート 材令 4週	試験回数 平均値 標準偏差 変動係数	9.4 1.42 0.192 13.5 (%)	9.4 1.36 0.124 9.13 (%)	12 1.39 0.0994 7.17 (%)	5) 1.2 1.351 0.125 9.27 (%)	6) 5.6 1.636 0.188 11.5 (%)
軽量 コンクリート 材令 13週	試験回数 平均値 標準偏差 変動係数	9.4 1.42 0.192 13.5 (%)	9.4 1.36 0.124 9.13 (%)	12 1.39 0.0994 7.17 (%)	7) 1.2 1.391 0.104 7.48 (%)	X

1) 標準養生シリンダーについては対呼び強度比

2), 3), 4) 普通コンクリート用換算式  $F_{cp} = 110P$  を用いた場合の推定圧縮強度の対設計基準強度比データ

5), 6), 7) 軽量コンクリート用換算式  $F_{cp} = 150P$  を用いた場合の推定圧縮強度の対設計基準強度比データ