

論文

[1041] 実大柱を対象とした高強度コンクリートの打設方法に関する研究

正会員 ○庄司芳之 (日本国土開発技術研究所)  
 尾上 修 (日本国土開発建築本部)  
 正会員 佐原晴也 (日本国土開発技術研究所)  
 正会員 竹下治之 (日本国土開発技術研究所)

1. はじめに

柱や壁のような鉛直部材では、1層あたりの打込み高さが大きいと、ブリージングや圧密差により上下方向の強度差が生じやすく、また、振動締固めが十分に行えない部分も生じやすい。このため、JASS 5では高強度コンクリートの1層あたりの打込み高さを60cm程度とし、その都度十分に振動締固めを行うとしている。しかしながら、施工性を考えるとコンクリートの品質に悪影響がない範囲内で、1層あたりの打込み高さは大きい方が有利である。

そこで本研究では、適切な高強度コンクリートの施工方法を決定するために、モデル柱の1層あたりの打込み厚さを種々変化させて振動締固め実験を行い、打込み高さや締固めの程度について検討した。締固めの良否は、粗骨材のふるい分け試験、採取したコア供試体の圧縮強度および透水試験結果によって判定した。さらに、この振動締固め実験で把握した施工方法の妥当性の確認を目的として、実際の高層RC建物で施工される柱を対象として打設実験を行い検討した。

2. 1層あたりの打込み高さや柱コンクリートの品質との関係に対する検討

2.1 実験方法

(1) 試験体の形状寸法および種類

試験体の形状寸法は、600×600×2000mmとした。試験体は、1層あたりの打込み高さ、締固め時間、締固め回数を変化させた8種類、合計15体(粗骨材のふるい分け試験用7体、コア供試体採取用8体)を作製した。これらの試験体の種類を表-1および図-1に示す。なお、B-8試験体は締固めを全く行なわないで打込んだものであり、このほかに基準試験体として、形

表-1 試験体の種類

試験体名	1層あたり打設高さ (mm)	打設層数	締固め箇所数 (1試験体あたり)	締固め時間 (1箇所あたり) (秒)	備考
A-1, B-1	500	4	4	15	中央締固め
A-2, B-2	750	3	4	15	"
A-3, B-3	750	3	4	30	"
A-4, B-4	750	3	16	7	順次4層締固め
A-5, B-5	1000	2	4	15	中央締固め
A-6, B-6	1000	2	2	15	"
A-7, B-7	2000	1	4	15	"
B-8	2000	1	-	-	締固めなし

Aシリーズ:粗骨材のふるい分け試験用

Bシリーズ:コア供試体採取用

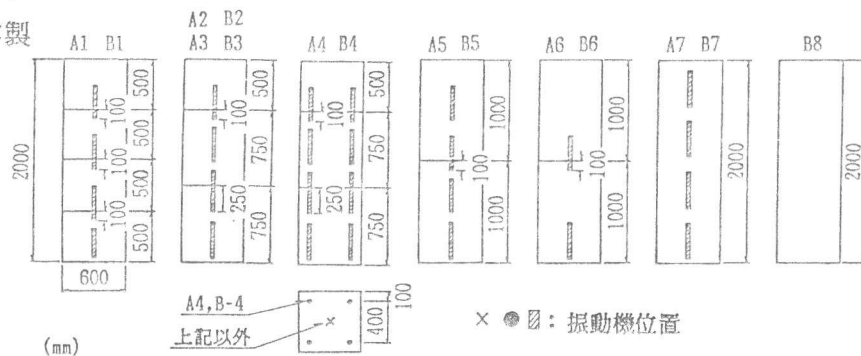


図-1 試験体の種類 (1層あたりの打設高さや振動機位置)

寸法が600×600×500mmで、径32mmの棒形振動機（振動回転数12,000～15,000rpm）を使用して入念に締固めを行った試験体を作製した。型枠はアルミ製を使用し、粗骨材のふるい分け試験用の試料が採取し易いように、1側面は高さ40cmのピースで組み立てた。

(2) 使用材料と配合

表-2 配合表

スランブ (cm)		空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
ベースコンクリート	流動化コンクリート				W	C	S	G	混和剤
12±2.5	18±2.5	4±1	38	41.4	170	447	699	1003	1.96

セメントは普通ポルトランドセメント（比重3.16）、細骨材は相模川水系の川砂（粗砂）と市原産の川砂（細砂）を重量比で4：1に混合したもの（比重2.60、FM2.86）、粗骨材は津久井郡城山産の碎石（比重2.64、FM6.70）を使用した。

コンクリートはレデーミクストコンクリートとし、トラックアジテータで現場に運搬して、試験体に打込む直前に流動化剤（メラミンスルホン酸系化合物）を添加し流動化コンクリートとして使用した。表-2にコンクリートの配合を示す。

(3) コンクリートの打込みおよび締固め方法

コンクリートの打込みはバケットを用いて行った。バケットの筒先にはサニーホース（9インチ径）を取り付けて、コンクリートの自由落下高さが1m以内になるようにバケット位置を調整した。1層あたりのコンクリートの打設高さは型枠内面のレベルマークで確認した。

コンクリートの振動締固めは、1層あたりのコンクリート打設ごとに、径42mmの高周波棒形振動機（振動回転数12,000rpm）を用いて予備実験結果<sup>1)</sup>を参考として、次のように行った。振動機の挿入位置はA4、B4以外は型枠の中央1ヶ所とした。締固め時間は15秒を基本としたが、1層あたりの打設高さが75cmのケースでは、30秒、28秒（A4、B4：7秒/1隅×4隅）も検討した。打継ぎ部においては振動機を下層コンクリート中に約10cm（1層あたりの打設高さ75cmのケースの1層目と2層目の打継ぎ部では25cm）貫入させた。

(4) 粗骨材のふるい分け試験

振動締固め終了後、粗骨材のふるい分け試験用の試験体については、1側面を脱型しながら試料を採取した。図-2に試料の採取位置を示す。採取した試料は均等に混ぜ合わせた後に、20kg計量し水洗いしながら5mmふるいでふるい分けた。なお、アジテータ車から直接排出させて採取した基準とすべきコンクリートについては、振動締固めを全く行わずにふるい分け試験を行った。

(5) コア供試体の採取

材令16～17日で図-3に示した位置からコ

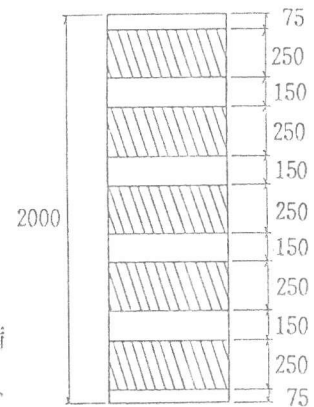


図-2 ふるい分け材料の採取位置

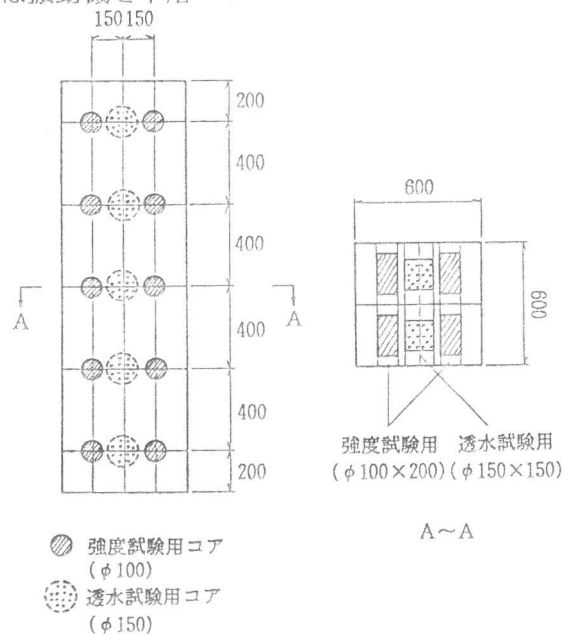


図-3 コア供試体採取位置

アを採取し、両端をカットしてφ100×h200mm（圧縮強度、単位体積重量測定用）、φ150×h300mm（透水試験用）の供試体を作製した。なお、透水試験はインプット法により行った。

表-3 粗骨材のふるい分け試験および硬化コンクリートの品質試験結果

試験体	粗骨材量比		単位体積重量		コア強度		透水係数	
	平均値	変動係数 (%)	平均値 (g/cm <sup>3</sup> )	変動係数 (%)	平均値 (kgf/cm <sup>2</sup> )	変動係数 (%)	平均値 10 <sup>-9</sup> cm/sec	変動係数 (%)
A-1 or B-1	0.954	3.0	2.271	0.6	404	4.6	1.48	53.9
A-2 or B-2	0.964	2.4	2.278	0.7	418	4.5	1.65	59.2
A-3 or B-3	0.929	1.4	2.288	0.8	395	8.2	2.30	35.4
A-4 or B-4	0.972	1.1	2.283	0.5	414	5.4	2.14	29.8
A-5 or B-5	0.951	2.2	2.292	0.8	416	9.1	1.82	37.0
A-6 or B-6	0.955	1.6	2.293	0.9	417	11.8	2.25	30.2
A-7 or B-7	0.999	3.2	2.302	0.5	435	9.1	2.08	18.9
B-8	—	—	2.266	1.1	398	10.1	2.44	32.6

## 2. 2 実験結果および考察

### (1) 粗骨材のふるい分け試験

図-4に柱の高さ方向における5~20mmの粗骨材量比の分布を、また、表-3に各試験体における粗骨材量比の平均値および変動係数を示す。同表には、硬化コンクリートの品質試験として行った全コア供試体による単位体積重量、コアの圧縮強度および透水係数の試験結果も示した。ここで、各粗骨材量比は締固めを行わないコンクリートの5mmふるい残留粗骨材量を1.00として表示した。同図表から、各試験体の粗骨材量比の高さ方向のバラツキは最大約10%(A-7)、平均で約6%、変動係数で最大3.2%(A-7)、平均で2.1%となっており、それほどバラツキは見られない。したがって、粗骨材のふるい分け試験結果からは、1層あたりの打設高さと同量分離の間には密接な関係は認められないと言える。なお、全試験体ともに粗骨材量比の高さ方向の平均値は1.0以下になっているが、この原因については現在のところ明らかではない。

### (2) 単位体積重量測定試験

図-5にコア供試体から求めた各試験体の単位体積重量の高さ方向の分布、表-3に各試験体ごとの全供試体に対する平均値および変動係数を示す。ふるい分け試験の結果の場合と同様に、全く締固めを行わなかったB-8を除き、単位体積重量についても高さ方向および各試験体におけるバラツキは顕著ではないが、各試験体とも柱の下部にいくにしたがって単位体積重量が幾分大きくなる傾向が見られた。これはブリージングや圧密の影響によるものと考えられる。しかしながら、この傾向も1層あたりの打設高

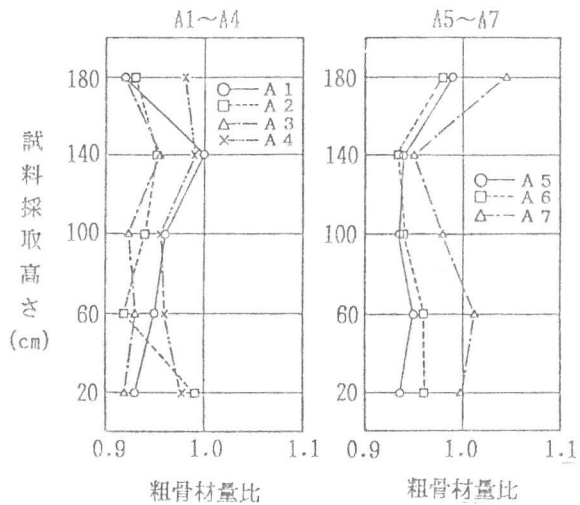


図-4 粗骨材量比の高さ方向分布

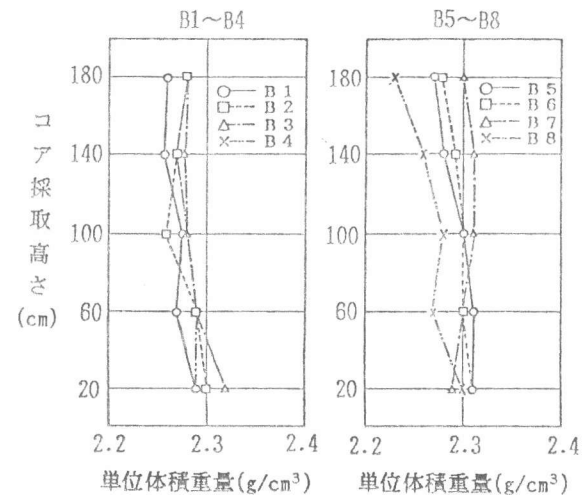


図-5 単位体積重量の高さ方向分布

さとは密接な関係がないと言える。なお、小型棒形振動機で入念に締固めた基準試験体の単位体積重量は $2.302\text{g/cm}^3$ であり、各試験体のそれは同等か幾分小さい値となった。

### (3) コアの圧縮強度試験

図-6にコア強度の高さ方向の分布、表-3に各試験体ごとの全供試体に対する平均値および変動係数を示す。一層あたりの打設高さが50cmのB-1、およびそれが75cmのB-2、B-4は高さ方向の強度差が $30\sim 50\text{kgf/cm}^2$ 、変動係数が4.5%~5.5%程度であり、良好な締固め結果が得られた。なお、締固め時期を30秒と長くしたB-3では、強度差は $65\text{kgf/cm}^2$ 、変動係数8.2%となり、長い締固めは強度差を大きくする傾向にあることが分かる。また、B-2とB-4の比較から、この柱の断面程度ならば締固めは1ヶ所で十分であることが分かる。

一方、1層あたり打設高さが100cm以上のB-5~B-8においては、高さ方向の強度差および変動係数ともに大きくなった。このような強度のバラツキは、1層あたりの打設高さが大きくなることによる気泡、ブリージングおよび圧密差などのほか、締固めが不十分であったことが原因していると考えられる。なお、締固めを全く行わなかったB-8の強度は、打設高さを1m以上とし締固めを行った各種試験体のほぼ下限値となっている。なお、締固めが良好であったB-1、B-2およびB-4に注目すると、一般的に言われている柱頂部の強度低下<sup>2)</sup>の傾向は認められず、むしろ柱中央部の強度が低下する傾向にある。これは、柱中央部では他の位置に比べ硬化初期に高温履歴を受けるため、長期強度の伸びが阻害されたため<sup>3)</sup>と考えられる。また、基準試験体の平均コア強度は $465\text{kgf/cm}^2$ であった。

### (4) 透水試験

図-7に試験体の透水係数の一例として高さ60cmの位置から採取した試料の値を、表-3に各試験体ごとの全供試体に対する平均値および変動係数を示す。また、図-8に透水係数の高さ方向分布の一例として、B-1およびB-5試験体の場合を示す。

図-7および表-3から、透水係数は1層あたりの打設高さや締固め方法にかかわらずほぼ一定値になっていることが分かる。その値としては $(1.5\sim 2.5)\times 10^{-9}\text{cm/sec}$ であり、水密性が問題となる値ではない。また、図-8から、各高さにおける透水係数は $(1\sim 3)\times 10^{-9}\text{cm/sec}$ であり、高さ方向のバラツキも小さい。以上より、水密性試験結果から判断すると、1層あたりの打設高さや締固め程度の

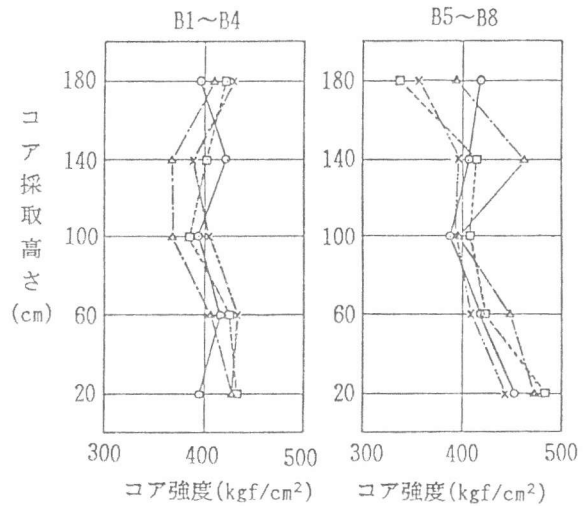


図-6 コア強度の高さ方向分布

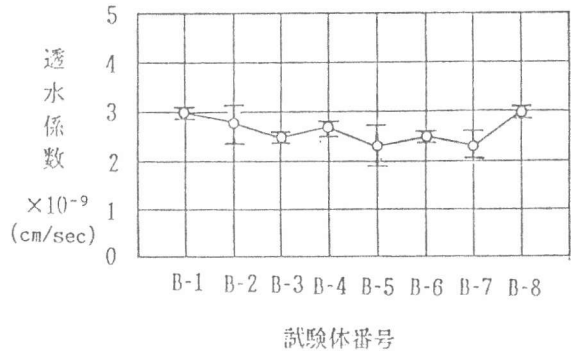


図-7 各試験体の透水係数 (試料高さ60cm)

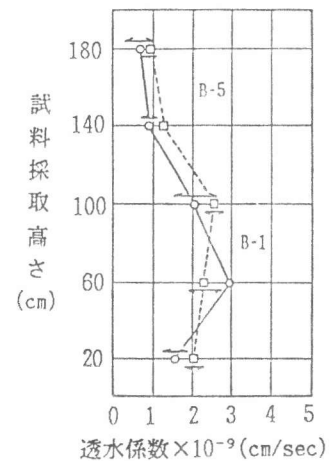


図-8 透水係数の高さ方向分布

良否の間には密接な関係は認められないと言える。

以上のことから、粗骨材のふるい分け試験結果、単位体積重量の測定結果および透水試験結果からは、1層あたりの打設高さや締固め程度の間にはそれほど密接な関係は認められなかった。しかしながら、コアの圧縮強度試験結果では、1層あたりの打設高さが75cm以下の場合と100cm以上の場合は明らかに締固めの程度に差がみられ、前者は良好な締固めが行われているのに対して、後者は高さ方向の強度差や各高さ位置における強度のバラツキが大きくなっている。このような結果から、柱コンクリートの打設に関しては、1層あたりの打設高さは75cm程度以下にして、その都度締固めを行うのがよいと考えられる。なお、長過ぎる締固めは強度差を増大させるので注意が必要である。

### 3. 実大柱による施工方法の妥当性の確認

#### 3.1 実験方法

##### (1) 試験体の形状および寸法

図-9に実験の対象とした柱の形状および配筋を示す。この柱は、実際の高層RC建物の2階部分の外柱を模擬したものである。なお、型枠はアルミ型枠を使用し、コンクリート打設状況が観察できるように透明型枠を4側面の一部に組み込んだ。

##### (2) 使用材料

使用材料は前実験と同様であり、コンクリートは設計基準強度420kgf/cm<sup>2</sup>を想定して、W/C=33%の高強度コンクリートを使用した。表-4に配合を示す。

##### (3) コンクリートの打込みおよび締固め

コンクリートの打込みは、2.5m<sup>3</sup>自動開閉式適量打設バケツ（ハイテクバケツ）を用いて行った。また、柱のコンクリート打込み高さは2階を想定しているために2.05mであり、一層あたりの打設高さを50~55cmとし、4層に分けて打ち込んだ。材料分離を防止するために、コンクリートの自由落下高さを1m以下になるように、バケツの筒先にフレキシブルホースを取り付けて調整した。

コンクリートの振動締固めは、径42mmの高周波棒形振動機（振動回転数12,000rpm）4本を用いて同時に行い、その挿入位置は柱の4隅に挿入し、締固めは一層の打設高さごとに行っ

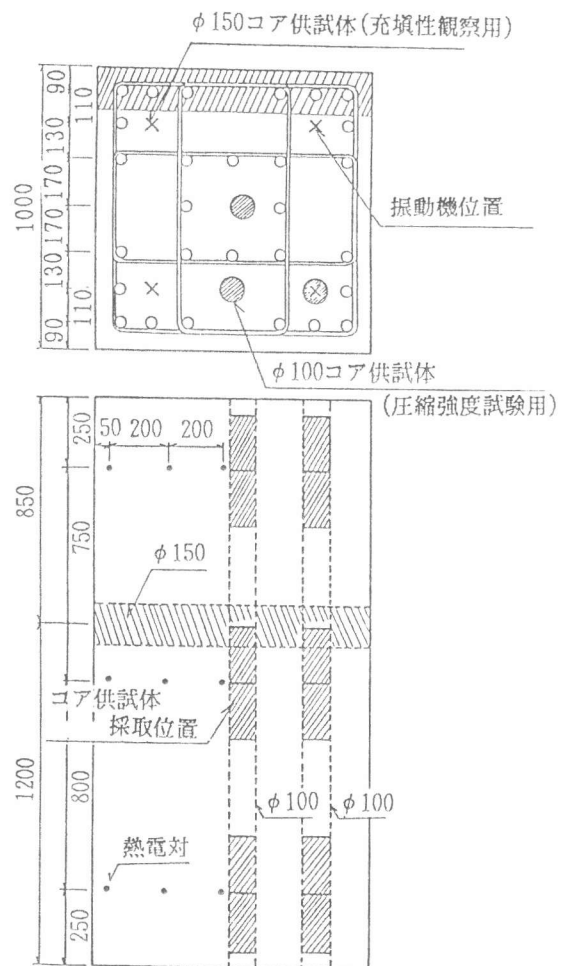


図-9 実大柱モデル

表-4 配合表

スランブ (cm)		空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
ハースコンクリート	流動化コンクリート				W	C	S	G	混和剤
12±2.5	18±2.5	4±1	33	39.4	170	515	642	1003	1.96

た。締固め時間は15秒とし、その内訳は挿入2秒、定位置振動10秒、引き抜き3秒とした。

### 3.2 実験結果および考察

#### (1) 充填状況の観察

打設時に透明型枠を通して観察した結果では、コンクリートは自由落下させただけで、芯鉄筋から周辺部にかなりよく流動し充填された。すなわち、投入後の締固め前でも、大きな気泡はほとんど見られず、自由落下エネルギーのみでかなり充填性が高いことが認められた。このため、振動機による振動締固め時にはコンクリートの移動はほとんど見られず、小さな気泡や局所的な空隙の除去が行われる状況が観察された。硬化後の脱型面には豆板は見られず、きれいな表面が得られた。また、φ150mmの横抜きのコア供試体の観察結果では、主筋やフープ筋のまわりにも完全にコンクリートが充填されている状況が確認された。

#### (2) コアの圧縮強度

図-10にコアの圧縮強度の高さ方向の分布を示す。図から、柱脚部では圧密効果によると考えられる強度増加が、柱中心部では硬化初期の高温履歴（位置1で18℃から最高48℃に増加）によると考えられる若干の強度低下が認められる。また、位置3では柱上部の強度低下の傾向も見られた。しかしながら、いずれの高さおよび位置においても設計基準強度（420kgf/cm<sup>2</sup>）以上の強度が得られており、その比率は1.14～1.38となった。

以上の柱表面およびコア供試体の充填状況、およびコア供試体の圧縮強度試験結果から判断すると、予備実験で決定した打設方法、締固め方法に従って施工すれば、所定の品質を有する柱コンクリートが打設できることが分かる。

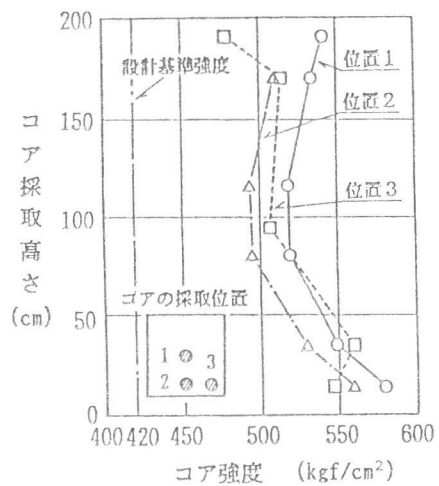


図-10 コア強度の高さ方向分布

### 4. まとめ

1層の打設高さ、締固め方法などを変化させて、高強度コンクリートの打設方法について実験的に検討を行った結果、次のようなことが分かった。

- (1) 粗骨材のふるい分け試験、単位体積重量測定試験および透水試験結果からは、1層あたりの打設高さや締固め程度の間にはそれほど密接な関係は認められなかったが、コアの圧縮強度試験結果からはかなり密接な関係が認められた。
- (2) 本試験の結果から、柱コンクリートの一層あたりの打設高さは約75cm程度以下にし、その都度1点につき15秒程度締固めを行うのがよい。
- (3) 実大の柱を用いた実験から、予備実験で把握した打設方法により施工すれば、設計基準強度を満足する十分な強度が得られることが分かった。

#### [参考文献]

- 1) 竹下治之ほか : 高強度コンクリートの振動締固めに関する実験的研究  
第43回セメント技術大会講演集、pp.280～pp.285、1989
- 2) 西田朗ほか : 高強度コンクリートの品質管理方法の研究(その1.高強度コンクリート構造物の実大実験)  
日本建築学会大会学術梗概集、pp.551～pp.552、1989
- 3) 大谷博、大岡督尚 : 高強度現場打設用コンクリートの性状について  
コンクリート工学年次報告集、Vol.11, No.1, pp.283～pp.288、1989
- 4) 佐原晴也ほか : 高強度コンクリートを打設した構造体の強度管理方法についての一実験  
土木学会第43回年次学術講演会、pp.318～pp.319、1988