

# 構造物躯体コンクリートの強度管理に関する研究（その4）

—コア供試体の強度におよぼす要因の検討—

SCCS 研究グループ

## Strength Control of Concrete in Structures (Part 4)

—Investigation of Factors Influencing Strength of Cored Specimens—

SCCS Research Group

### Abstract

The authors described strength development of in-situ concrete in Part 1 to Part 3 using cored test specimens. However, it is doubtful whether strength is maintained the same after drilling since the concrete is mechanically marred while it comes into contact with water during the coring operation. Moreover, it is said to be questionable whether the results of strength tests of cored specimens represent the strength of concrete in the structure before drilling because it is obvious that results will vary according to differences in curing conditions after drilling. Therefore, in this report, the effects of basic factors influencing the strengths of cored specimens are discussed in order to clarify as much as possible the questionable points mentioned above. As an appendix, the effects of the direction of drilling are discussed cutting cores from various members and portions of actual structures built in the autumn season and reported in Part 1.

### 概 要

我々は、すでに報告した（その1）～（その3）で、コア供試体を用いて構造体躯体コンクリートの強度の実態調査を行なってきた。しかし、コアボーリングは、対象とするコンクリートを機械的に傷つけ、かつ、抜き取り時にコンクリートに水がかかることなどから、抜き取り前の強度が抜き取り後も確実に保持されているかどうか疑問をもたれたりする。また、抜き取り後試験時までの養生方法のちがいで、強度試験の結果が異なるということもいわれており、コア供試体による強度確認も、はたして、抜き取る以前の構造物のコンクリート強度をどれほど代表しているか疑問視されることがある。

そこで、この報告は、これらの疑問点をできるだけ明確にさせる目的で、コア供試体の強度におよぼす基本的な要因の検討を行ったものである。また、（付）として、（その1）に報告した秋季に打設した実物部材を用いて、各部材、部位でのコア抜き取り方向のちがいによる影響も検討した。

### 1. まえがき

施工中の建物の構造体躯体強度の推定や、竣工後何年かを経過した建物の耐力診断等で、コンクリート強度を確認する必要が生じた場合、シュミットハンマーや超音波法などのいわゆる非破壊検査を行なう場合もあるが、現時点では、コア供試体を抜き取って強度試験をするのが、もっとも信頼できて、かつ、直接的な方法としてしばしば利用されている。

しかし、コアボーリングは、対象とするコンクリートを機械的に傷つけ、かつ、抜き取り時にコンクリートに水がかかることなどから、抜き取り前の強度が抜き取り

後も確実に保持されているかどうか疑問をもたれたりする。また、抜き取り後試験時までの養生方法のちがいで、強度試験の結果が異なるということもいわれており、コア供試体による強度確認も、はたして抜き取る以前の構造物のコンクリート強度をどれほど代表しているか疑問視されることがよくある。

我々は、すでに（その1）～（その3）で、コア供試体を用いて構造体躯体強度の実態調査を行なっており、上述した疑問点はできるだけ明確にさせておく必要がある。

今回の実験は、コア供試体の強度に影響を与えると考えられる数多くの要因のうち、最も基本的な次の4つの要因について検討を行なったものである。

- (1) コア抜き取りによる機械的な影響
- (2) コア抜き取り時に供試体に水がかかることの影響
- (3) コア抜き取り後の養生方法のちがいによる影響
- (4) コア供試体にイオウキャッピングを行なうことの影響

この他に、試験方法上の問題で、シリンダー供試体の大きさのちがいによる影響も検討した。

## 2. 実験の概要

### 2.1. 実験方法

原則として、圧縮強度のわかっているもの、言いかえると、別の試験で強度の確認ができるものからコア供試体を抜き取って強度試験を行ない、コア抜き取りの影響を含まない強度試験の結果と比較した。

具体的には、15φ×30cm シリンダー供試体から、10φ×20cmのコアを抜き取り強度試験を行ない、同時に打込んだ同一養生のシリンダー供試体の強度と比較した。

10φ×20cmのコア供試体を抜き取るための15φ×30cmシリンダーの拘束方法および抜き取り状況は写真1の通りである。

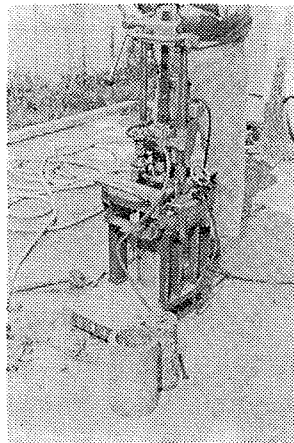


写真1 コア供試体の抜き取り状況

### 2.2. 試験条件の組合せ

コア抜き取り前の養生方法として、最も基本的な標準水中養生(20°±2°C)と、標準気中養生(20°±1°C, RH 60%)の2水準を設定し、コア抜き取り前後の養生方法、シリンダーの大きさ、コアボーリングの有無、キャッピングの方法等のちがいにより表-4に示す合計14の試験条件を設定した。

このうち、試験条件の⑩は、既報の構造体コンクリート強度の実態調査をした時のコア供試体のコア抜き取り後の養生方法にならったものである。

## 3. 実験条件

今回の実験は、次の条件のもとに行なったものである。

(1) コンクリートは、 $F_c=210 \text{ kg/cm}^2$ でW/C=60%程度の川砂利、川砂を利用した普通コンクリートを対象とした。調合は、表-1に示す通りである。これは、(その1)で報告した夏季および秋季に打設したコンクリ

トと全く同じである。

W/C (%)	S/a (%)	セメント (kg)	水 (l)	細骨材 (kg)	粗骨材 (kg)	AE減水剤 (kg)
59.4	45.5	315	187	802	977	0.787

表-1 コンクリートの調合 (1 m<sup>3</sup>当)

(2) 必要量約1m<sup>3</sup>のコンクリートは、バッチ間の変動をさけるため、一台の生コン車から同時にすべての供試体を採取した。

(3) 1試験条件に対する供試体の数は20本とし、平均値のみならず、ばらつきもある程度把握できるようにした。

(4) 強度試験は、材令4週で行なった。

(5) コアの抜き取りは、強度試験の2日前に行なった。

(6) 強度試験は、すべて1台の試験機(島津製作所製200t 万能試験機)を使用した。

(7) コア供試体の成型は、15φ×30cmシリンダー内部の強度分布は一様であると仮定し、以下の順序に従ってシリンダー中央部から抜き取った。

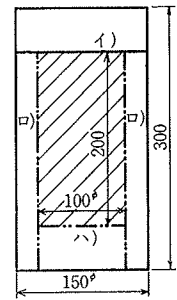
イ) 15φ×30cmシリンダーを

15φ×25cmに端面カット

ロ) 15φ×25cmシリンダーから10φ×25cmにコアボーリング

ハ) 10φ×25cmシリンダーを10φ×20cmに端面カット

(8) 使用したコアボーリング機



械は、三盟精工(株)製の携帯型ユニバーサルコアドリル Model GS-Dで、製造年度の異なる次の3台である。

Ⓐ 昭和45年製 モーター出力 680 W

Ⓑ 昭和46年製 モーター出力 780 W

Ⓒ 昭和51年製 モーター出力 780 W

3台共にその性能は、無負荷時で回転数 700 ppm, 2.5馬力(過負荷時で約4馬力)である。

(9) 各コアボーリング機械の試験条件毎の抜き取り本数の割合は一定とした(Ⓐ:Ⓑ:Ⓒ=6:6:8)。

(10) 原則として、試験条件が変わる毎にコアドリルの刃先を新品と交換した。

## 4. 実験結果

### 4.1. 未だ固まらないコンクリートの性質

供試体コンクリート打込み時の未だ固まらないコンクリートの性質は表-2の通りである。

スランプ (cm)	空気量 (%)	単位容積量 (kg/l)	コンクリート温度 (°C)
21.7	7.0	2.18	32.0

表-2 未だ固まらないコンクリートの性質

番号	使用した機械の別	供試体の試験条件の別				
		①	②	③	④	⑤
1	㊸	5*15*	5*10*	5*40*	4*40*	7*30*
2		5 45	6 00	6 30	5 30	7 00
3		6 00	5 25	6 40	6 00	6 00
4		5 30	5 50	7 00	5 00	6 20
5		6 00	6 25	6 50	6 00	8 00
6		5 50	6 25	6 30	6 00	8 00
7	㊹	7*00*	6*20*	6*00*	5*40*	7*00*
8		6 30	6 10	6 30	6 00	7 00
9		6 30	5 18	7 00	6 50	7 00
10		6 40	5 10	7 20	6 20	6 40
11		6 50	5 00	6 20	6 50	6 40
12		7 20	6 40	6 20	7 20	6 50
13	㊺	4*55*	5*31*	4*25*	6*45*	5*30*
14		6 16	6 00	4 45	7 20	5 45
15		7 20	6 12	4 53	6 15	4 50
16		7 48	6 37	4 50	6 53	5 00
17		7 42	5 55	5 13	7 17	5 50
18		7 27	5 59	5 24	6 05	5 53
19	8 45	6 23	6 06	6 40	5 52	
20	8 47	6 01	5 40	7 33	6 40	
抜き取り速度の幅		2.8~5.1cm/m	3.7~4.8cm/m	3.4~6.0cm/m	3.3~5.4cm/m	3.1~5.2cm/m
平均抜き取り速度		3.7cm/m	4.2cm/m	4.2cm/m	3.9cm/m	3.9cm/m

表—3 コアの抜き取り速さ

り、空気量がやや多めであった。

4.2. コア抜き取り速さ

各供試体を長さ 25 cm コアボーリングするのに要した時間は表—3 の通りであった。コアボーリング機械メーカーの推奨する平均抜き取り速度約 2.0 cm/min に比較して今回の実験では 2 倍程度早い抜き取り速度であったが、新品のコアドリルの刃先を使用したため供試体側面の不整形性は認められなかった。

4.3. 強度試験の結果

各試験条件ごとの平均強度と標準偏差を一括して表—4 に示す。また、各条件での強度のばらつきをヒストグラムで図—1 に示した。

5. 実験結果についての考察

実験結果の検討は、次の要領で行なった。

(a) 試験条件①—②および⑦—⑧の比較から、供試体の大きさの影響

(b) 試験条件②—③および⑧—⑨の比較から、イオウキャッピングによる影響

(c) 試験条件⑧—⑭の比較から、コア抜き取り時に水がかかるとの影響

(d) 試験条件②—⑥および⑥—⑬の比較から、コア抜き取り後の養生方法の影響

(e) (a)~(d)の検討結果および試験条件①—⑤、①—⑥—④、⑦—⑬—⑪、⑦—⑭—⑩の比較から、コア抜き取りの機械的影響

5.1. 供試体の大きさの影響

(1) 標準水中養生、標準気中養生の両方とも、15 φ×30 cm シリンダーの方が 10 φ×20 cm シリンダーよりも平均強度は高く (+7.5%, +13.2%), ばらつきは小さい。なお、強度差は、標準気中養生の場合の方が大きかった。

(2) 今までの研究報告によると、供試体が小さいほど

番号	打込みから試験2日前までの養生方法	コアボーリングの有無	試験2日前から試験までの養生方法		キャッピングの種類	強度試験の結果 (kg/cm <sup>2</sup> )	
			供試体の大きさ	養生方法の種類		平均強度	標準偏差***
①	15φ×30cm	標準水中養生*	—	15φ×30cm	標準水中養生	セメントペースト	216 4.70
②	10φ×20cm	同上	—	10φ×20cm	同上	同上	201 18.92
③	同上	同上	—	同上	同上	イオウ	207 12.42
④	15φ×30cm	同上	有	同上	標準気中養生	同上	240 12.11
⑤	同上	同上	有	同上	標準水中養生	同上	214 13.03
⑥	10φ×20cm	同上	—	同上	標準気中養生	セメントペースト	211 16.59
⑦	15φ×30cm	標準気中養生**	—	15φ×30cm	標準気中養生	セメントペースト	189 11.64
⑧	10φ×20cm	同上	—	10φ×20cm	同上	同上	167 14.00
⑨	同上	同上	—	同上	同上	イオウ	168 14.18
⑩	15φ×30cm	同上	有	同上	同上	同上	190 16.28
⑪	同上	同上	有	同上	標準水中養生	同上	162 9.26
⑫	同上	同上	有	同上	湿布によるおおい	同上	170 5.80
⑬	10φ×20cm	同上	—	同上	標準水中養生	セメントペースト	145 17.70
⑭	同上	同上	—	同上	標準気中養生	同上	163 14.77

\* 20±2℃水槽  
\*\* 20±1℃、RH60%恒温恒湿室内  
\*\*\* 強度分布を正規分布と仮定した場合の値

表—4 試験条件の種類と強度試験の結果

強度は高く、ばらつきは大きくなるといわれてきている。今回の実験結果は、ばらつきについては従来通りであったが、平均強度については逆の結果になっている。

(3) コンクリートの強度発現に温度・湿度が影響することはよく知られている。供試体の大きさが同じで同一温度条件では、コンクリートの内湿分が高い状態で養生されたものほど強度発現が大きくなる。

(4) コンクリートは、マス効果により内湿分が異なり、比表面積が小さいほど内湿分の発散速度は遅く、湿潤状態が長く保たれる。

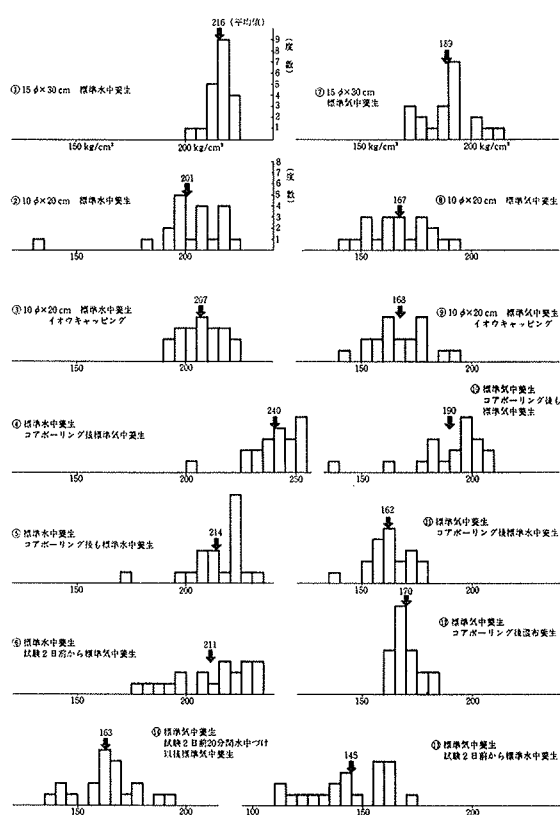
(5) 10 φ×20 cm シリンダーと 15 φ×30 cm シリンダーの比表面積の割合は、1 : 2/3 で 15 φ×30 cm シリンダーの方が 10 φ×20 cm シリンダーより内湿分が高いと判断される。

(6) (3)~(5)の考察から、標準気中養生の供試体の大きさによる強度差は、コンクリート内湿分のちがいが原因になっていると考えられる。

(7) 一方、標準水中養生供試体の大きさによる強度差は上記の論理では説明できない。

(8) いずれにせよ、標準気中養生・標準水中養生の場合ともに、供試体の大きさの違いによる強度差は、単に強度試験実施時の供試体の大きさが影響するのではなく、コンクリート打設から試験までの間の供試体の大きさが養生のきき方に影響し、それぞれの大きさの供試体が固有の強度発現性状をもつと考えた方が合理的だと思われる。

5.2. コア供試体にイオウキャッピングを行うことの影響



図一 試験条件毎の強度のばらつき

標準水中養生，標準気中養生の場合とも，セメントペーストでキャッピングしたものにに対し，イオウキャッピングを行なったものの，キャッピング方法の違いによる強度差は認められなかった（+3.0%，+0.6%）また，イオウキャッピングを行なうことによって，ばらつきが大きくなることもないようである。

### 5.3. コア抜き取り時に供試体に水がかかることの影響

コア抜き取り実施と同時に，コアボーリングおよび端面のカッティング作業の時間を想定して20分間だけ水中養生を行なった供試体の強度は，水中養生を行なわなかったものに比べわずかに強度が低いが（-2.4%），両者の強度のばらつき状態から判断して，コア抜き取り時に水がかかっても強度への影響はほとんどないと考えられる。

### 5.4. コア抜き取り後の養生方法のちがいによる影響

(1) 5.2., 5.3. の検討から，コア抜き取り後の養生方法が，抜き取り前の養生方法と同一であり，かつ，コア抜き取りによる機械的影響がなければ，コア抜き取りによる強度低下はないと考えられる。

(2) 打込み後標準水中養生を行っていたものを，試験前に2日間標準気中養生を行なって供試体中の水分を少なくすると，強度は高くなる（+5.0%）。

(3) 打込み後標準気中養生を行っていたものを，試

験前に2日間標準水中養生を行なって供試体中に水分を補給すると強度が低下する（-13.2%）。

### 5.5. コア抜き取りの機械的影響

(1) 5.1.(8)から，検討のための基準として，試験条件の①，⑦をとる。

(2) 5.2. より，イオウキャッピングによる影響は無いとする。

(3) 5.3. より，コア抜き取り時に水がかかる影響も無いとする。

(4) 5.4. より，コア抜き取り後の養生方法のちがいによる影響度は，次の値で仮定する。

イ) 標準水中養生していたものを，標準気中養生して試験した場合の影響度は，+5.0%

ロ) 標準気中養生していたものを，標準水中養生して試験した場合の影響度は，-13.2%

以下の検討は上記の(1)～(4)の仮定にもとづいておこなう。

(5) コア抜き取り前に標準水中養生を行っていたものを，

イ) コア抜き取り後も標準水中養生を行なったもののコア抜き取りの機械的影響は， $(⑤/①)-1.0 = -0.9\%$  とほとんどない。

ロ) コア抜き取り後に標準気中養生を行なったものへのコア抜き取り機械的影響は， $(④/①)-1.0 - (+5.0\%) = +6.1\%$  となる。

(6) 同様に，コア抜き取り前に標準気中養生を行なったもので，

イ) コア抜き取り後も標準気中養生を行なったものへのコア取りの機械的影響は， $(⑩/⑦)-1.0 = +0.5\%$  とほとんどない。

ロ) コア抜き取り後に標準水中養生を行なったものでは， $(⑪/⑦)-1.0 - (-13.2\%) = -1.1\%$  とこの場合も，コア抜き取りによる機械的影響はほとんどない。

(7) 以上の検討により，コア抜き取りの機械的影響による強度低下はほとんどないと言える。

### 5.6. 強度試験時のコンクリートの内温分について

(1) 試験条件の⑩で，コア抜き取り前に標準気中養生を行っていたものを，コア抜き取り後に湿布養生を行なったものは，試験時のコンクリート内湿分の量がコア抜き取り後標準気中養生を行なったものと標準水中養生を行なったもの中間に位置すると考えられる。

今回の強度試験の結果では，コア抜き取り後湿布養生を行なったものは，どちらかと言えば，コア抜き取り後標準水中養生を行なったものの強度に近い値になった。

(2) 従来からいわれてきていることではあるが，たとえ試験時までの供試体の大きさ，養生方法が同じであっ

ても、強度試験の時のコンクリート内湿分が異なると、強度試験の結果に差が生じることが明らかになった。一般に、湿潤養生を行っていたものを乾燥させて試験すると、強度は増加し、逆に、乾燥養生を行っていたものを湿潤状態にして試験すると強度は低下することになる。

(3) 以上のことから、コア供試体の強度試験を行なう場合、JIS A1107 (コンクリートからのコア及びはりの切り取り方法及び強度試験の方法) で、コア供試体を試験の時まで40~48時間水中 (20°±3°C) につけてから試験するという規定は、コア抜き取り前に乾燥養生されていたものについては、強度を安全側に評価することになる。

(4) コンクリートの内湿分を定量的に把握するのはなかなか困難ではあるが、コア供試体で強度試験をする場合には、対象とするコンクリートの内湿分をできるだけ変えないようにして試験する必要があると考える。

## 6. まとめ

今回の実験で明らかになったことを要約すると以下のようになる。

(1) 標準水中養生、標準気中養生を行なったものも共に、15φ×30cm シリンダーの方が10φ×20cm シリンダーの供試体より強度が高く、その割合はそれぞれ、+

7.5%、+13.2%であった。このような供試体の大きさによる強度差の原因は、コンクリート打込みから試験時までの養生期間中に、供試体の大きさのちがいで、それぞれが固有の強度発現性状を有するものと考えられ、単に強度試験時の大きさによって強度差が生じることは考えない方が合理的である。

(2) コア供試体にイオウキャッピングをして強度試験を行なっても、強度変化は認められなかった。

(3) コア抜き取り時に供試体に水がかかっても強度の変化はないことがわかった。

(4) 最も懸念されたコアボーリングによるコンクリート切断の機械的影響により、強度試験の結果が左右されることはほとんどない。

(5) コア抜き取り後の養生方法のちがいで強度試験の結果は異なる。つまり、コア抜き取り前まで湿潤養生されていたものを、コア抜き取り後乾燥させて試験すると、強度は増加する (+5.0~11.1%)。逆に、コア抜き取り前まで乾燥養生されていたものを、コア抜き取り後湿潤状態で試験すると、強度は低下する (-13.2~14.3%)。

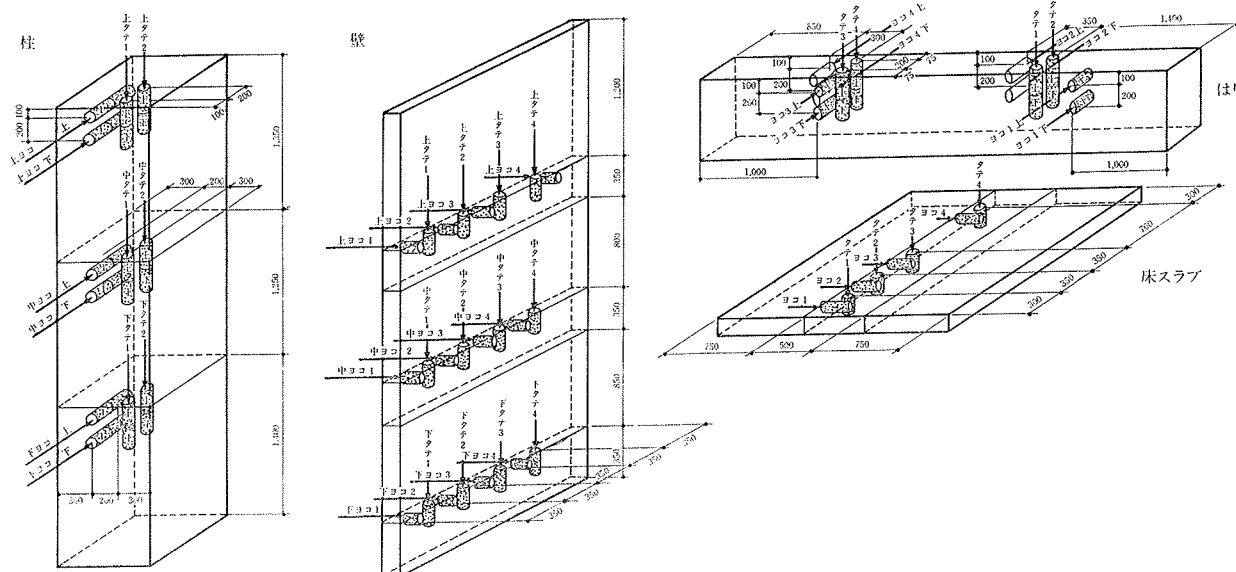
(6) 以上の検討から、(その2)で報告した構造体躯体コンクリート強度の実態調査における結果および結論を変更したり修正したりする必要がないことが明らかになった。

## (付) コア抜き取り方向のちがいによる強度差の検討

### 1. 目的

すでに報告した(その1, 2)の構造体躯体コンクリー

ト強度の実態調査において、柱・壁・はり・床スラブの部材ごとの強度差の検討を行なった。しかし、そこでは、



図—2 コア供試体の抜き取り位置

部位		タテ強度	ヨコ強度	差	差の比率(%)			タテ強度	ヨコ強度	差	差の比率(%)			タテ強度	ヨコ強度	差	差の比率(%)
		A	B	(A-B)	(A-B)/B×100			A	B	(A-B)	(A-B)/B×100			A	B	(A-B)	(A-B)/B×100
上部	1上	325	270	55	20.4	上部	1	296	288	8	2.8	はり	1上	239	259	-20	-7.7
	2上	361	344	17	4.9		2	300	267	33	12.4		2上	253	260	-7	-2.7
	1下	294	279	15	5.4		3	297	252	45	17.9		3上	253	258	-5	-1.9
	2下	336	328	8	2.4		4	293	276	17	6.2		4上	270	248	22	8.9
	平均	329	305	24	7.9		平均	297	271	26	9.6		平均	254	256	-2	-0.9
中部	1上	308	294	14	4.8	中部	1	319	309	10	3.2	材	1下	298	293	5	1.7
	2上	335	313	22	7.0		2	297	323	-26	-8.0		2下	309	268	41	15.3
	1下	261	293	-32	-10.9		3	324	290	34	11.7		3下	299	282	17	6.0
	2下	326	287	39	13.6		4	298	293	5	1.7		4下	313	277	36	13.0
	平均	308	297	11	3.7		平均	310	304	6	2.0		平均	305	280	+25	9.0
下部	1上	318	296	22	7.4	下部	1	346	319	27	8.5	床スラブ	1	246	277	-31	-11.2
	2上	307	339	-32	-9.4		2	335	305	30	9.8		2	261	252	9	3.6
	1下	331	299	32	10.7		3	325	300	25	8.3		3	218	232	-14	-6.0
	2下	374	354	20	5.6		4	290	269	21	7.8		4	264	247	17	6.9
	平均	333	322	11	3.4		平均	324	298	26	8.7		平均	247	252	-5	-2.0

柱全体の平均強度差 +5.2%(ヨコ強度を基準)

壁全体の平均強度差 +6.9%(ヨコ強度を基準)

床スラブの平均強度差 -1.7%(ヨコ強度基準)  
はり全体の平均強度差 +4.1%(ヨコ強度基準)

表-5 柱部材の抜き取り方向による強度差

表-6 壁部材の抜き取り方向による強度差

表-7 はり部材、床スラブの抜き取り方向による強度差

柱・壁の鉛直部材ではコンクリートの打込み方向と直角にコアを抜き取ったのに対し、はり・床スラブの水平部材では打込み方向と平行に抜いている。

従って、鉛直部材と水平部材の強度差の検討結果については、コア抜き取り方向による強度差の影響をふまえて結果の評価を行なう必要がある。

## 2. 実験方法

今回の実験に用いたコンクリートは、(その1)で報告済みの秋季に打設した各部材の材令13週までの諸試験が終了した残りの部分を利用して行なったものである。各部材・部位で、タテ方向・ヨコ方向からそれぞれ4本ずつ供試体を抜き取った。抜き取り位置の詳細は、図-2に示す通りである。強度試験は材令330日で行なった。その他の試験方法は、(その1)に報告した通りである。

## 3. 実験結果とその検討

(1) 強度試験の結果は、表-5~7に示す通りである。

(2) 同一部位においても供試体間にかかなりの強度のばらつきがあるが、総じてタテ方向に抜き取ったものの方がヨコ方向に抜いたものに比べ強度が高くなっている。強度差の割合を部材ごとの平均値でみると、柱で+5.2%、壁で+6.9%、はりで+4.1%、床スラブで-1.7%という結果になる。

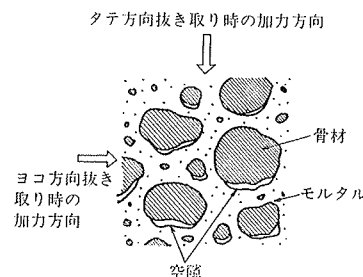
(3) これは、コンクリートの内部構造をミクロにとらえた場合、ブリージングによって骨材下面に生じると考

えられる空隙にかかる力の方向が異なるためと考えられる。

(4) このことで、床スラブでは部材厚さが小さいため、ブリージングによって生ず空隙の量が少なくなり、結果として

タテ・ヨコの抜き取り方向のちがいによる強度差が他の部材に比べて小さくなったものと判断される。

(5) いずれにしても、タテ方向に抜き取ったものの方が、ヨコ方向より強度が高くなるとすれば、(その2)で報告した鉛直部材と水平部材の強度差はさらに大きくなることになる。



## 参考文献

- 1) 構造物躯体コンクリートの強度管理に関する研究 (その1. 研究計画概要), 大林組技術研究所報, No. 16, (1978)
- 2) 同題 (その2. 躯体コンクリートの強度発現性状), 大林組技術研究所報, No. 16, (1978)
- 3) 同題 (その3. コンクリートの強度発現に影響を及ぼす要因), 大林組技術研究所報, No. 16, (1978)

(文責 川口 徹)