

報告

[1040] 高強度コンクリート構造体への引抜き試験法の適用についての基礎的研究

正会員○永塚 徹 (新井組技術研究部)
 正会員 酒井孝司 (新井組技術研究部)
 正会員 平澤一郎 (新井組技術研究部)
 正会員 森田司郎 (京都大学建築学科)

1. はじめに

現在、構造体コンクリートの強度検査は、打ち込まれるコンクリートから試料を採取して製作された円柱供試体の圧縮強度試験によって行われる場合が多い。しかし、同じフレッシュコンクリートが打設されても、構造体コンクリートの発現強度は締固めやその後の部材内部の温度履歴などの養生条件によって、管理用供試体の強度とは大きく異なることが考えられる。水和熱の高い高強度コンクリートほどこの影響は大きい。高強度コンクリートを用いた大断面部材の、実施工における構造体コンクリートの強度発現の実態を報告した例は少ない。それゆえ、円柱供試体による強度管理のみでは、適切な管理法とは言えない可能性がある。また、円柱供試体とは別に構造体から直接にコアを抜き取り強度管理を行う手法も用いられているが、構造体に大きな損傷を与えることから適用には限界がある。

本報告は、室内実験では構造体コンクリート強度を簡単に、しかも精度よく検査できることが報告されている引抜き試験法[1] を取り上げ、高強度コンクリートを用いた超高層RC造の実大施工実験に適用し、その有効性と問題点について検討した結果について報告するものである。

2. 実験計画

2.1 実験概要

本実験は、超高層RC造の下層階柱における構造体コンクリートの強度発現の実態を調査するために計画した。実験に用いるコンクリートの使用材料の一覧と計画調合をそれぞれ表1と表2に示す。目標スランプは18cm、目標空気量は4%とする。なお、実験に用いた引抜き試験法はプレセット式であり、図1にその仕様を示す。

また、本実験を構成する実験A～Eの概要一覧を表3に示す。実験A、Bは夏期における強度発現の性状を無筋試験体について調べるものであり、実験C～Eは各季節において、実大の鉄筋コンクリート柱を対象として調べるものである。

表-1 使用材料一覧表

セメント	普通ポルトランドセメント
水	工業用水
粗骨材	砕石(赤穂砕石)
細骨材	海砂(大槌島沖)と砕砂(赤穂砕砂)を重量比7:3で混合
混和剤	高性能AE減水剤(変性リグニン、アルキルアリルスルホン酸および活性持続ポリマーの混合物)

表-2 コンクリートの計画調合表

実験名	W/C (%)	s/a (%)	単位重量 (kg/m ³)			
			W	C	S	G
A, C D, E	33	38.9	170	515	626	1002
	38	41.0	170	447	681	1002
	40	41.1	170	425	699	1002
	45	42.9	170	378	737	1002
B	40	46.0	180	450	753	904
	46	48.0	180	391	810	893

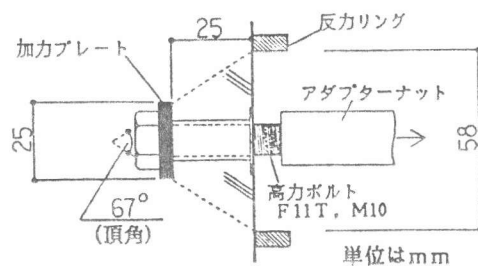


図-1 引抜き試験の仕様

表-3 実験概要の一覧表

実験名	季節	コンクリートのW/C (%)	試験体				養生方法	試験材令 (日)
			高さ (cm)	断面 (cm)	配筋の有無	数量 (体)		
A	夏期	33,38,45	60	85×85	無	3	材令91日まで湿潤養生	7,28,91
B		40,46	120	85×85	無	2 2	材令1日で脱型、以降気中放置 材令28日まで湿潤養生、以降気中放置	3,7,28,91
C	標準期	40	210	100×100	有	2	材令8日で脱型、以降気中放置	7,28,91
D	冬期	38	210	100×100	有	4		
			100	100×100	有・無	2・2		
E	夏期	40	210	100×100	有	4		
			100	100×100	有・無	2・2		

(注) 1. 打込み方法および振動締め方法はすべて同じとする
 2. 骨材の最大寸法は、実験A, C, D, Eで20mm、実験Bで15mmとする

2.2 各実験の内容

各実験の内容および方法を以下に示す。

(1) 実験A

実験に用いる試験体を図2に示す。試験体内部のコンクリート温度の分布を一樣とするため、試験体表面をすべて断熱し、試験材令まで湿潤養生を行う。本実験は、ボルト設置の高さと方向が引抜き耐力に与える影響を確認するための実験である。ボルトを試験体の上面、側面および底面に設置し、同一材令でそれぞれ異なる面で引抜き試験を行う。また、あわせて図2に示した位置にてコア供試体採取する。なお、コア供試体は試験体高さ60cmのうち中央部の20cmより採取する。試験材令は7、28、91日とする。

(2) 実験B

実験に用いる試験体を図3に示す。本実験はコンクリート表面部分の乾湿の状態が、引抜き耐力に与える影響を調べる目的で行う。ここでは、試験体を4体製作し、①材令1日で脱型し、以降気中放置とするもの、②湿布にて湿潤状態に保

ったまま材令28日まで型わくを存置し、以降気中放置とするものの2水準の養生条件にそれぞれ2体ずつを供して両者の発現強度を比較検討する。なお、試験材令は3、7、28、91日とする。

(3) 実験C

本実験は、図4に示す柱部材を単独で取り出し、引抜き耐力と構造体コンクリート強度との関係を把握する目的で行う。試験体は2体とし、1体は材令7、28日で、他の1体は材令91日で試

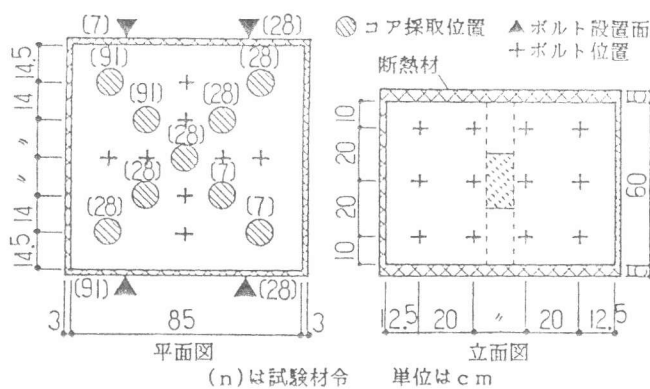


図-2 実験Aの試験体

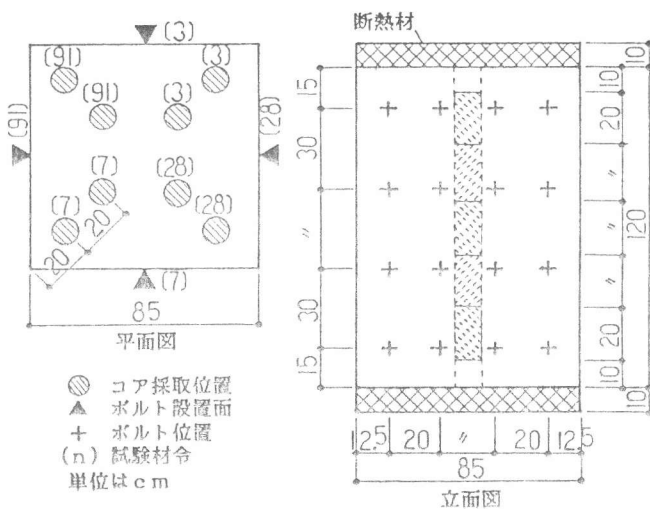


図-3 実験Bの試験体

験を行う。ボルトは各材令ごとにそれぞれの試験体の2側に設置する。なお、コンクリートのバッチおよび打込み方法は同じとする。

(4) 実験D、E

実験に用いる試験体を図4に示す。本実験は、実大施工実験での構造体の柱部材と、短柱ダミー試験体との関係を確認する目的で行うものであり、部材の高さ、配筋の有無および施工季節が強度発現に及ぼす影響を調べる。試験体数は実験D、Eともに柱部材4体、短柱ダミー試験体4体（有筋、無筋2体ずつ）とし、試験材令は7、28、91日とする。

柱部材にはボルトを1面ずつ、短柱試験体には3面ずつ設置し、それぞれ同一部材、同一材令でコア強度試験および引抜き試験を行う。

部材の高さの影響を柱部材と有筋の短柱試験体の実験結果により、また配筋の有無の影響を有筋と無筋の短柱試験体の実験結果によりそれぞれ検討する。さらに、実験C、D、Eの結果から、通年にわたる引抜き耐力と構造体コンクリートのコア強度との関係性を求め、既往の報告[1]、[2]との比較を行う。

3. 実験結果と考察

3.1 コア強度と現場水中養生強度

実験A～Eでのコア強度と現場水中養生強度（以下、現水強度と呼ぶ）の試験結果を表4に示す。なお、コア強度は各材令での試験結果の平均値である。両者の関係

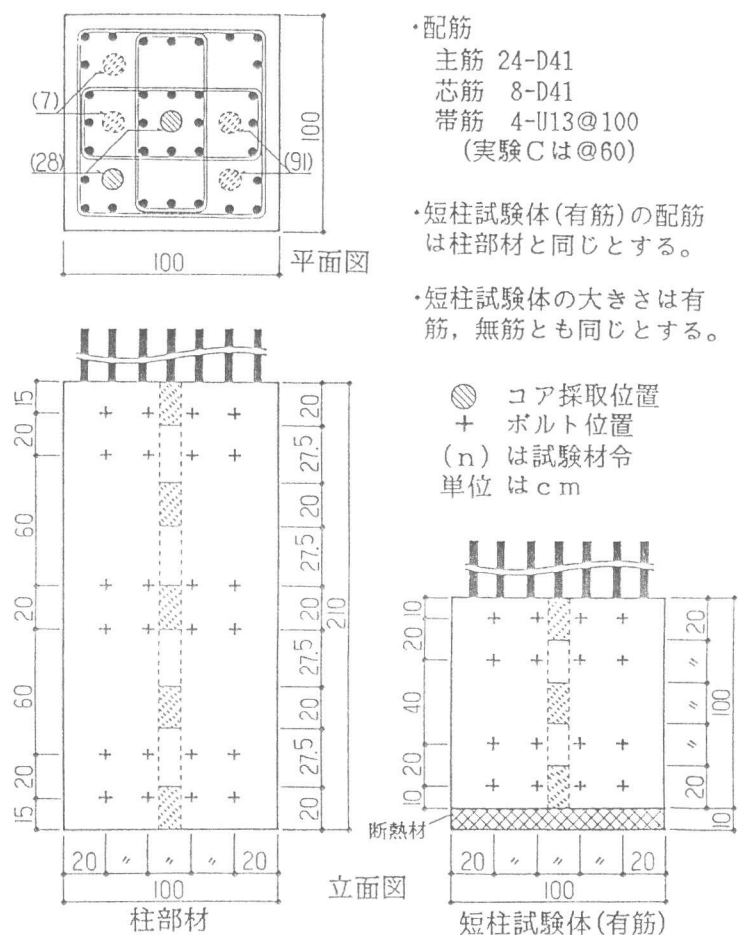


図-4 実験C、D、Eの試験体

表-4 現場水中養生強度とコア強度

実験名	W/C (%)	材令 (日)	圧縮強度 (kgf/cm ²)				
			300	400	500	600	700
A (夏期)	38	7	(1.01)				
		28	(0.82)				
		91	(0.78)				
B (夏期)	40	7	(1.07)				
		28	(0.85)				
C (標準期)	40	7	(1.26)				
		28	(1.08)				
		91	(0.98)				
D (冬期)	38	7	(1.45)				
		28	(1.04)				
		91	(1.02)				
E (夏期)	40	7	(0.97)				
		28	(0.95)				
		91	(0.87)				

(注)1. コア強度、 現場水中養生強度

() : コア強度/現場水中養生強度

2. 実験Bは材令28日まで湿潤養生、以降気中放置したもの

は、標準期、冬期の材令7日においてはコア強度>>現水強度（強度比1.26、1.45）という傾向が、また夏期の材令28、91日においてはコア強度<現水強度（強度比0.78~0.95）という傾向が明確に現れており、円柱供試体に比べて、構造体コンクリートの強度増進は水和熱の影響によって、夏期の長期材令では小さくなるという一般的な性状を示している。

3.2 引抜きボルトの設置位置の影響

実験Aにおいて、上面、側面および底面に設置したボルトの、それぞれの面での平均引抜き耐力と平均コア強度の関係を図5に示す。同図より、ボルトの設置面によって、その関係式はかなり異なることがわかる。コア強度 400~550kgf/cm²の範囲では、打込み高さ60cmの中央部のコア強度に対する引抜き耐力は、側面の平均値に対して上面は8~13%低く、底面は6~15%高くなる結果となった。

つぎに、側面ボルトの設置高さに着目し、引抜き耐力の高さ方向の分布を調べた。上、中および下段ごとに引抜き耐力の平均値を求め、上面と底面の平均値とともに図6に示す。同図より、引抜き耐力は高さ方向に異なり、上面≒上段<中段<下段≒底面という傾向を示していることがわかる。

このように、引抜き耐力の分布はコンクリートの打込み高さ方向の強度分布を敏感に反映しており、同じ高さに設置されたボルトでは引抜き方向の違いによる影響は少ない。柱のコンクリート強度を推定する場合、打込み高さを考慮したボルトの設置位置を選ぶことが大切である。

3.3 養生の差による影響

実験Bの結果より、表面の乾湿が引抜き耐力に及ぼす影響を検討するため、材令と引抜き耐力およびコア強度の関係を図7に示す。同図によれば、材令1日から28日までの極端な養生条件の差にかかわらず、内

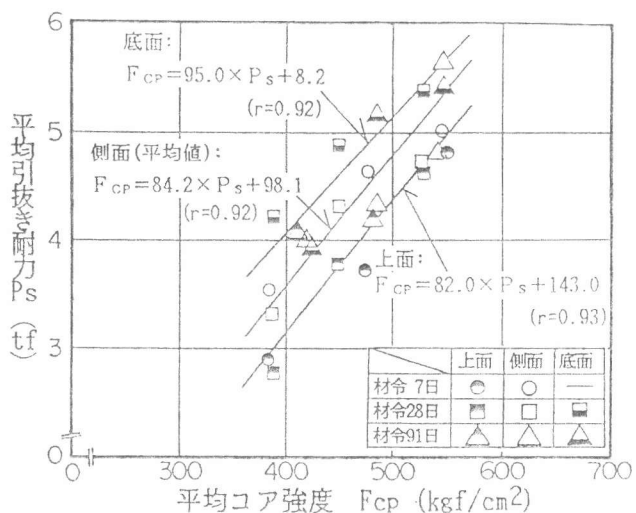


図-5 ボルト設置位置による引抜き耐力とコア強度の関係

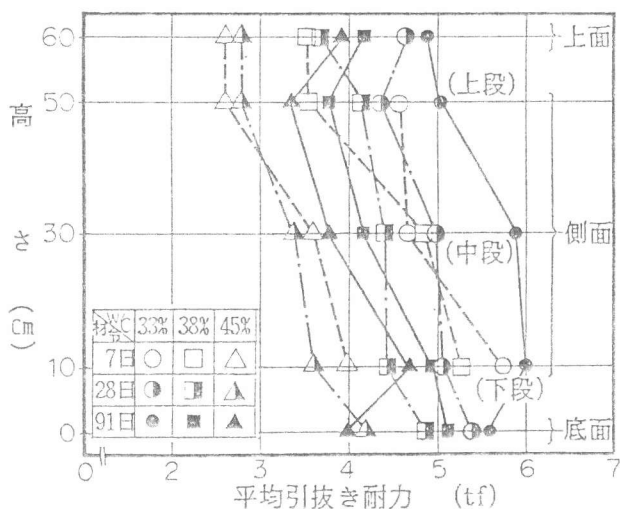


図-6 引抜き耐力の高さ方向の比較

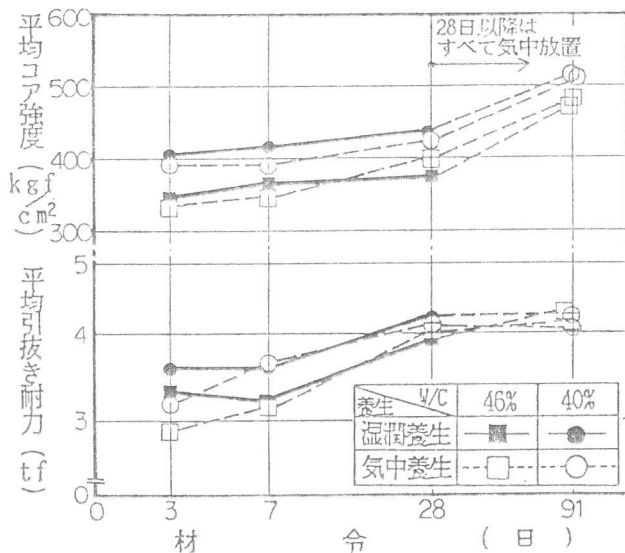


図-7 材令と引抜き耐力およびコア強度の関係

部のコア強度は勿論、引抜き耐力についても材令3日での引抜き耐力の差以外は顕著な影響がなかった。また、材令28日以降に着目すると、それまでの養生条件に関係なく引抜き耐力の増進は鈍化した。一方、コア強度はその後も増進を続けており、長期材令では部材表面の乾燥により引抜き耐力は内部のコア強度ほどには増進しないと見ることができる。この傾向は、コンクリート表面の乾燥が引抜き耐力を低下させるとする既往の報告[1]と一致している。

3.4 部材の高さの影響

実験D、Eの結果より、柱部材と有筋の短柱試験体の平均引抜き耐力と平均コア強度の関係を1次回帰式でそれぞれ求め図8に示す。なお、引抜き耐力は部材側面に均等に配置したボルトの平均値であり、コア強度もその材令における平均値である。

図8では、柱部材と短柱の引抜き耐力とコア強度の関係には、有意差が認められない。つまり、打込み高さの範囲で、均等に配置した引抜き耐力の平均値と均等に採取したコア強度とで評価すると、実大柱より短いダミー試験体での試験結果により柱部材の構造体コンクリート強度を推定できると言える。

3.5 配筋の有無による影響

実験D、Eの有筋と無筋の短柱試験体の平均引抜き耐力と平均コア強度との関係を1次回帰式でそれぞれ求め、図9に示す。なお、引抜き耐力は試験体側面に均等に配置したボルトでの平均値であり、コア強度はその材令における平均値である。同図より、有筋試験体と無筋試験体の引抜き耐力とコア強度の関係には有意差は認められず、打込み高さの範囲の平均強度で評価する限り、配筋の有無が構造体強度に与える影響は小さいと考えられる。

3.6 引抜き耐力とコア強度の関係

試験体の養生方法が同じである実験C、DおよびEの試験結果について、引抜き耐力とコア強度との関係を各試験材令での平均値で図10に示す。ただし、試験体の高さの違いおよび配筋の有無による影響は小さいと考えられることから、図10では3実験の結果をまとめて示してある。なお、既往の報告[1]、[2]で提案されている関係式(1)、(2)による直線を併記した。また、これらの実験結果を1次回帰により近似し、式(3)を、さらに原点を通る条件を与え、式(4)を得た。

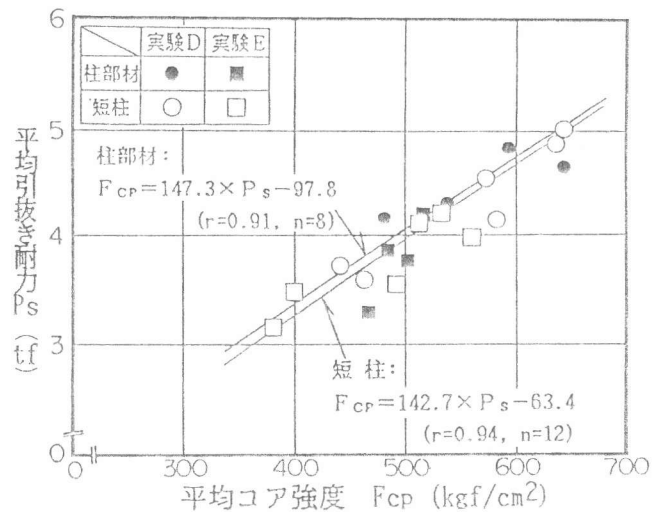


図-8 柱部材の高さの影響

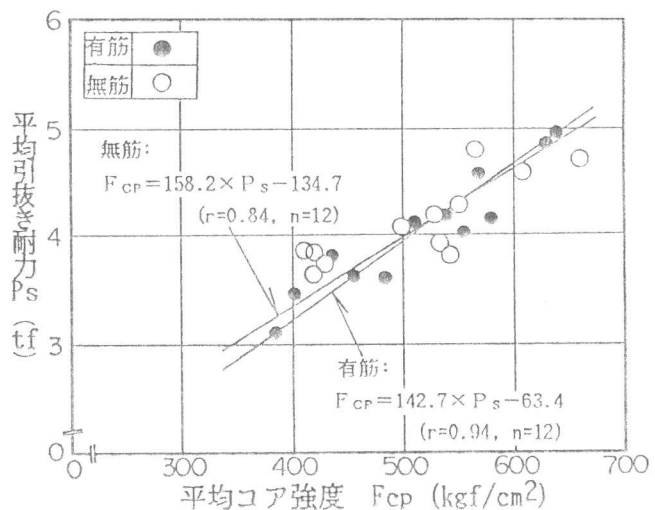


図-9 配筋の有無による影響

$$F_{cp} = 110 \times P_s \quad (1)$$

(400kgf/cm²以下の
コンクリート)

$$F_{cp} = 130 \times P_s \quad (2)$$

(800~1,200kgf/cm²級の
高強度コンクリート)

$$F_{cp} = 143 \times P_s - 72 \quad (3)$$

$$F_{cp} = 126 \times P_s \quad (4)$$

ここに、 P_s : 引抜き耐力 (tf)

F_{cp} : コア強度

(kgf/cm²)

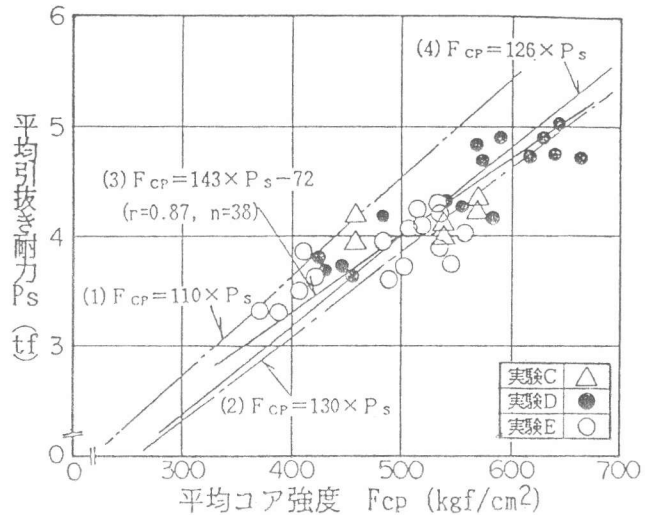


図-10 引抜き耐力とコア強度の関係

本実験の範囲内では、式(3)と式(4)

による推定強度の差は極めて小さいことがわかる。なお、式(1)、式(2)の基礎となったコンクリートと本実験のコンクリートを総合して普通骨材の品質差を不問にした回帰式は、原点を通る直線に近い曲線式として求めることは容易である。

5. まとめ

本実験によって以下の事柄が明らかとなった。

(1) 引抜き試験によって、高強度コンクリートを用いた構造体のコンクリート強度を精度よく推定することができ、しかも試験方法は現場への適用が問題なく行える。

(2) 柱の平均的な部材強度を推定する場合、ボルトは部材側面の上、中、下段に配置するなど、平均的な引抜き耐力が得られるように配慮する必要がある。

(3) コンクリート表面の乾燥は、引抜き耐力を低下させる傾向がある。

(4) 実部材より短い柱高さのダミー試験体で試験しても、側面ボルトを高さ方向に均等に配置すれば、平均引抜き耐力と平均コア強度の関係は実部材でのそれと大きな差はない。また、配筋の有無による影響も小さい。

(5) 本実験のコア強度 369~665kgf/cm²の範囲において、コア強度は引抜き耐力にほぼ比例し、その換算係数は 126となった。

なお、実験の実施にあたっては、京都大学・小松勇二郎技官の適切な指導を得た。また、本研究の一部は、平成2年度文部省科研費(試験研究)によった。

参考文献

- 1) 森田司郎：引抜き試験法の開発と構造体コンクリートの品質管理システムの提案、昭和62年度文部省科学研究費補助金(試験研究)研究成果報告書、1988. 3
- 2) 小松勇二郎・森田司郎：1000kgf/cm²級コンクリートに対する引抜き試験法の適用、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12、No.1、pp.325-330、1990.6