

論文 かぶり部コンクリートの充填性に及ぼす配筋の影響

亀澤 靖^{*1}・松下 博通^{*2}・鶴田 浩章^{*3}・尾上 幸造^{*4}

要旨：コンクリート構造物の耐久性にとって、かぶり部コンクリートの品質は非常に重要であるが、配筋状況の違いによりかぶり部におけるコンクリートの充填状況が異なることが考えられる。本研究では一般的なスランプ 8cm のコンクリートを対象とし、配筋状況を数種類に変化させた型枠を用いて充填実験を行った。その結果、鉄筋の純間隔、配置方向によりかぶり部コンクリートの充填性に与える影響度が異なり、それぞれの影響の大きさを事前に数値化し、評価できる可能性が示された。

キーワード：充填性，耐久性，鉄筋間隙通過性，均一性

1. はじめに

近年コンクリート構造物の耐久性には大きな疑問が投げかけられており、その信頼の回復は関係する全ての技術者にとって極めて重要な課題である。コンクリート構造物の耐久性を確保するためには、計画通りの均質なコンクリートが欠陥部となる空隙を伴わずにきちんと充填されていることは基本的要件である。土木学会コンクリート標準示方書の諸規定もそのことが前提となっており、特にかぶり部コンクリートの品質は重要である。

コンクリート構造物構築のフローにおける設計、材料、施工のすべての段階において、かぶり部コンクリートの充填性に影響を与える要因が存在すると考えられる。これまで高流動コンクリートを用いた鉄筋間隙通過性に関する研究¹⁾は数多く行われているが、一般に用いられる普通コンクリートを対象とした研究例は少ないのが現状である。

そこで本研究では一般的なスランプのコンクリートを用いて、かぶり部コンクリートの充填性に及ぼす配筋の影響に着目し、その数値化の可能性を探ることとした。

かぶり部コンクリートの充填性を考えるうえ

で、コンクリートの鉄筋間隙通過性、均一性、密実性が特に重要であると考えられる。そこで数値化に際しては、鉄筋間隙通過性を表す指標として充填面積を、コンクリートの均一性を表す指標として単位骨材質量の変動量を用いた。ここで充填面積とは、鉄筋間隙を通過して型枠壁面に到達したコンクリート部分の面積のことである。今回の検討ではまだ固まらないコンクリートを対象としており、密実性に関連する硬化試験体の空隙分布および強度特性については今後の検討課題とした。

2. 充填状況観察実験

2.1 実験概要

本実験は実構造物を模した試験装置に打設したコンクリートがかぶり部へ充填される様子を目視観察することを目的として行った。

2.2 使用材料および配合

セメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm³，ブレン値 3270cm²/g)を使用した。細骨材は海砂(表乾密度 2.56g/cm³，吸水率 1.45%)，粗骨材は碎石 2005(表乾密度 2.80g/cm³，吸水率 0.383%)を用いた。混和剤にはリグニスルホン酸系の AE 減水剤を使用した。

*1 大成建設株式会社 九州支店土木部 M.S. (正会員)

*2 九州大学大学院教授 工学研究院建設デザイン部門 工博 (正会員)

*3 九州大学大学院助教授 工学研究院建設デザイン部門 博士(工学) (正会員)

*4 九州大学大学院 工学府建設システム工学専攻 修士課程

使用したコンクリートの配合条件および単位量を表 - 1 に示す。

2.3 打設方法

充填状況観察実験用試験装置の概要を図 - 1 に示す。試験装置は、部材厚さが約 450mm、異形鉄筋(D19, D25, D32)が 125mm ピッチで格子状に配置された、箱桁のウェブを想定したものである。配筋状況を表 - 2 に示す。鉄筋径および配置方向の影響をみるために、配筋は面 A と面 B で同一径の鉄筋を水平方向と鉛直方向に入れ替えたものとした。純かぶり厚さは 50mm とした。試験装置の壁面はアクリル製とし、コンクリートの充填状況が観察できるようにした。コンクリートは 3 層に分けて投入し、各層に棒状内部振動機による締固めを施した。締固め方法を表 - 3 に示す。

2.4 結果および考察

写真 - 1、写真 - 2 は実験 NO.1 において 2 層目のコンクリートを投入後、所定の締固めが完了した直後の状態である。両者は同一試験装置における面 A と面 B であり、打設および締固め条件が全く同じであるにも拘らず、配筋状況の違いによりかぶり部への充填状況が異なったものになっていることが分かる。

図 - 2 に各層において所定の締固めが完了した時点の充填面積比率を示す。

$$\text{充填面積比率} = \frac{A_{fill}}{A_{total}} \times 100 \quad (1)$$

ここに、 A_{fill} はコンクリート充填部分の面積であり、 A_{total} はアクリル型枠全体の面積である。



写真 - 1 充填状況
(実験 NO.1, 面 A - 配筋 V32H19)

表 - 1 コンクリートの配合条件および単位量

粗骨材最大寸法(mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)
20	8	4.5	57	45
単位量(kg/m ³)				
W	C	S	G1	G2
157	275	819	559	528

G1:10 ~ 20mm, G2:5 ~ 10mm

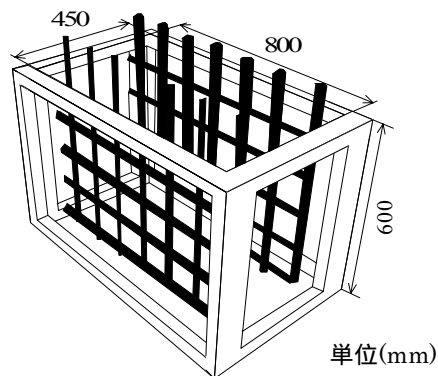


図 - 1 充填状況観察実験用試験装置

表 - 2 配筋状況

実験NO.	呼び名	鉛直鉄筋(V)	水平鉄筋(H)
1,3	面A	V32H19	D32
	面B	H32V19	D19
2,4	面A	V32H25	D32
	面B	H32V25	D25

注) 呼び名は外側鉄筋を先とし、例えば鉛直 D32 (外側) 水平 D19 (内側) の組合せを V32H19 と表記する。

表 - 3 締固め方法

実験NO.	締固め箇所	挿入深さ	締固め時間
1,2	試験体長手方向に40cm 間隔で2箇所	コンクリート表面より 10cm	5秒で一定
3,4	試験体長手方向に20cm 間隔で3箇所	下層に 10cm程度 貫入	コンクリート表面に水が浮上する時点まで



写真 - 2 充填状況
(実験 NO.1, 面 B - 配筋 H32V19)

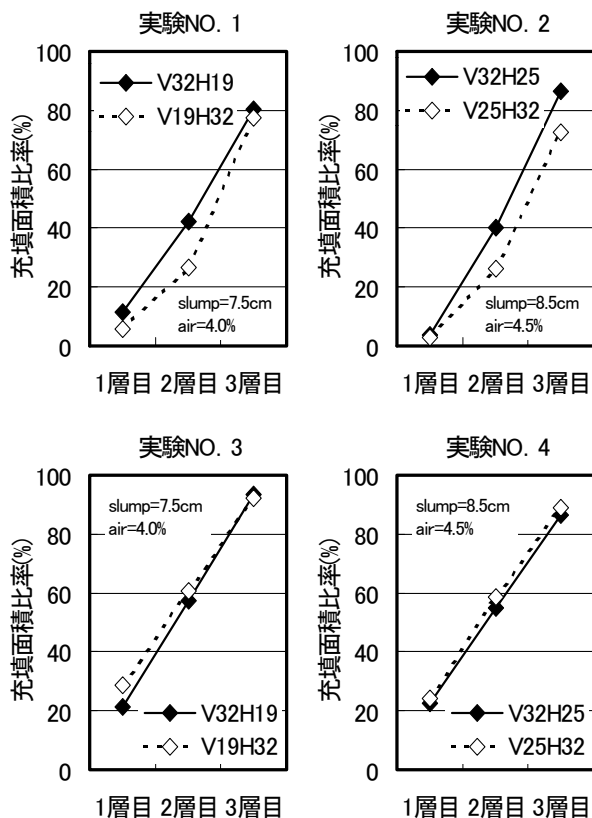


図 - 2 充填面積比率

図 - 2 より、実験 NO.1, 2 では太径の D32 を水平方向に配置した場合に充填面積比率は低下する傾向にあることが分かる。しかし、実験 NO.3, 4 では両者の間に顕著な差は認められない。これは、締固め方法の違い(表 - 3)によるものであると考えられる。

3. 配筋が充填性に及ぼす影響の検討

3.1 実験の目的

充填状況観察実験により、同一の鉄筋径の組合せであっても、配置方向および締固め方法が異なるとかぶり部へのコンクリートの鉄筋間隙通過性が異なることが観察された。これは、配筋、コンクリート、施工の組合せにより、かぶり部コンクリートの充填性が異なるものになることを示唆するものである。しかし、各要因が単独あるいは複合的に関連した結果の充填性に与える影響度については明らかになっていない。そこで、まず流動障害としての鉄筋に着目し、配筋状況の違いがコンクリートの鉄筋間隙通過性並びにかぶり部と内部におけるコンクリート

の品質の差異に及ぼす影響度について検討した。将来的にはフレッシュコンクリートの性状および施工方法まで考慮した検討が必要不可欠であると考えている。

3.2 実験の要因

配筋状況を表 - 4 に示す。鉄筋の純間隔に関して、土木学会コンクリート標準示方書²⁾によれば、はりについては粗骨材最大寸法の 4/3 倍以上・鉄筋径以上・20mm 以上、柱については粗骨材最大寸法の 4/3 倍以上・鉄筋径の 3/2 倍以上・40mm 以上と規定されているが、鉄筋継手部分に関しては「継手部と隣接する鉄筋との純間隔または継手部相互の純間隔は粗骨材の最大寸法以上とする」との記述があり、本実験における粗骨材の最大寸法である 20mm についても検討を行うこととした。

表 - 4 配筋状況

		鉄筋純間隔(mm)				
配置方向	鉄筋径(mm)	20	35	50	65	80
水平	19	○	○	○	○	○
	32	○		○		○
鉛直	19	○	○	○	○	○
	32	○		○		○

3.3 使用材料および配合

セメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm³, プレーン値 3270cm²/g)を使用した。細骨材は海砂(表乾密度 2.58g/cm³, 吸水率 1.60%),粗骨材は砕石 2005(表乾密度 2.91g/cm³, 吸水率 1.00%)を用いた。混和剤にはリグニンスルホン酸系の AE 減水剤およびアルキルアリルスルホン酸系の空気連行剤を使用した。コンクリートの配合条件および単位量を表 - 5 に示す。

表 - 5 コンクリートの配合条件および単位量

粗骨材最大寸法(mm)	スランプ(cm)	空気量(%)	W/C(%)	s/a(%)
20	8	4.5	55	45.5
単位量(kg/m ³)				
W	C	S	G1	G2
167	304	812	658	439

G1:10 ~ 20mm, G2:5 ~ 10mm

3.4 打設方法および試験装置の概要

コンクリートの練混ぜにはパグミル型二軸強制練りミキサ(容量 0.055m³)を用いた。骨材およびセメントを投入し 30 秒間空練りした後、混和剤を溶解させた水を添加しさらに 150 秒間練り混ぜた。1 バッチあたりのコンクリート量は 0.045m³ であった。

試験装置の概要を図 - 3 に示す。純かぶり厚さは 50mm とした。鉄筋面と平行な試験装置壁面はアクリル製とし、充填状況が観察できるようにした。実験ではまず仕切り板で仕切られた空間内に、型枠を完全に充填するに必要な量のコンクリートを投入し、その後仕切り板を同時に引き上げた。コンクリートの自重による変形が完了した時点でコンクリートが鉄筋間隙を通過した事例はなかった。その後、投入筒を外さずに棒状内部振動機(出力 180W, 電圧 100V, 電流 3A, 回転数 10000 ~ 11000rpm)を試験装置中央部に先端が底から 5cm の位置まで挿入し、締固めを行った。締固め時間は予備実験により決定し、D19 を純間隔 50mm で水平に配置した場合にコンクリートが完全に充填するまでに要する時間である 30 秒を標準とした。

3.5 測定項目

コンクリートの鉄筋間隙通過性に与える配筋の影響を調べるため 締固め時間 10 秒毎に鉄筋間隙を通過してアクリル壁面に到達したコンクリート部分(写真 - 2)の面積を算出し、充填面積比率を 2.4 に示した式(1)により求めた。

一方、コンクリートが鉄筋間隙を通過する際、粗骨材が鉄筋に引掛かることでモルタルと粗骨材が分離し、かぶり部コンクリートの品質が元の配合あるいは内部コンクリートに対して変動することが考えられる。そこで、コンクリート単位容積に対する骨材質量を求めることにより、コンクリートの均一性について検討を行った。具体的には、かぶり部および内部よりまだ固まらないコンクリートを 2 リットルずつ採取(2 層 12 回突固め)したものを 0.15mm ふるい上で水洗し、セメント分を洗い流した。残留分を 110

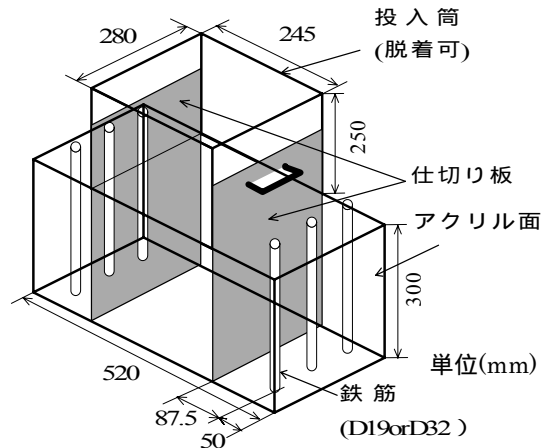


図 - 3 試験装置の概要



写真 - 2 充填状況 (アクリル面)

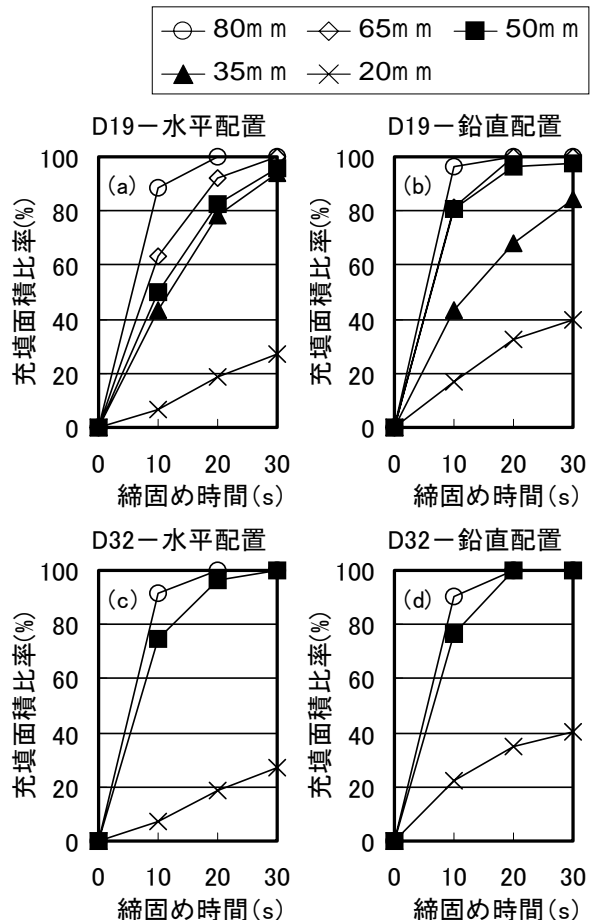


図 - 4 充填面積比率

の乾燥炉に 24 時間放置し，0.15～5mm，5～10mm，10～20mm の各粒径群について絶乾質量を計量した。細骨材については，0.075mm および 0.15mm ふるいに残留する質量百分率がそれぞれ 100%，95%であることより 0.075～0.15mm の値に換算した。計量した骨材の絶乾質量を吸水率で補正して表乾質量とし，表乾密度で除して体積を求め，合計分を 1m³ から減じた余剰分をペーストの体積とした。

3.6 結果および考察

3.6.1 充填面積比率

図 - 4 に充填面積比率を示す。いずれの配筋パターンにおいても鉄筋の純間隔が 20mm の場合には充填面積比率が 27～40%と他に対して極端に低下しており，かぶり部にコンクリートが十分に充填されていないことが分かる。同一鉄筋径で配置方向を変えた場合については，D19(a)，(b)では純間隔が 35mm の場合を除いて鉛直配置の方が充填面積比率は若干高くなっている。D32((c)，(d)では純間隔が 20mm の場合を除いてそれほど大きな差は認められない。また，同一配置方向で D19 と D32 の場合((a)と(c)，(b)と(d)を比較すると，両者はよく似通った曲線を描いており，コンクリートの鉄筋間隔通過性に関しては鉄筋の径よりも純間隔の影響が卓越すると思われる。

3.6.2 単位骨材質量

図 - 5 にかぶり部コンクリートの組成(D19 水平配置の場合)を示す。鉄筋の純間隔が 20mm の場合に，モルタルと粗骨材の分離が特に顕著であることが分かる。これは他の配筋状況においても同様の傾向であった。骨材の各粒径群別の体積変動で見ると，0.075～5mm および 5～10mm の粒径群について鉄筋の純間隔の違いによる変動はそれほど見られないことから，かぶり部コンクリートの均一性を議論する場合には 10～20mm の粒径群における変動分を指標としてよいと思われる。

図 - 6 にかぶり部および内部より採取したコンクリート中の粗骨材(10～20mm)の表乾質量

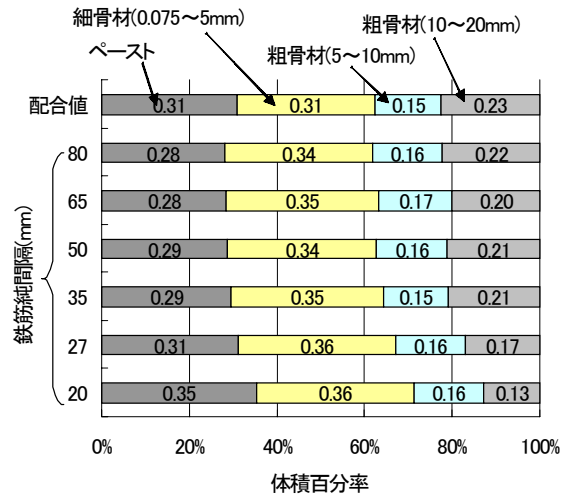


図 - 5 かぶり部コンクリートの組成 (D19 水平配置)

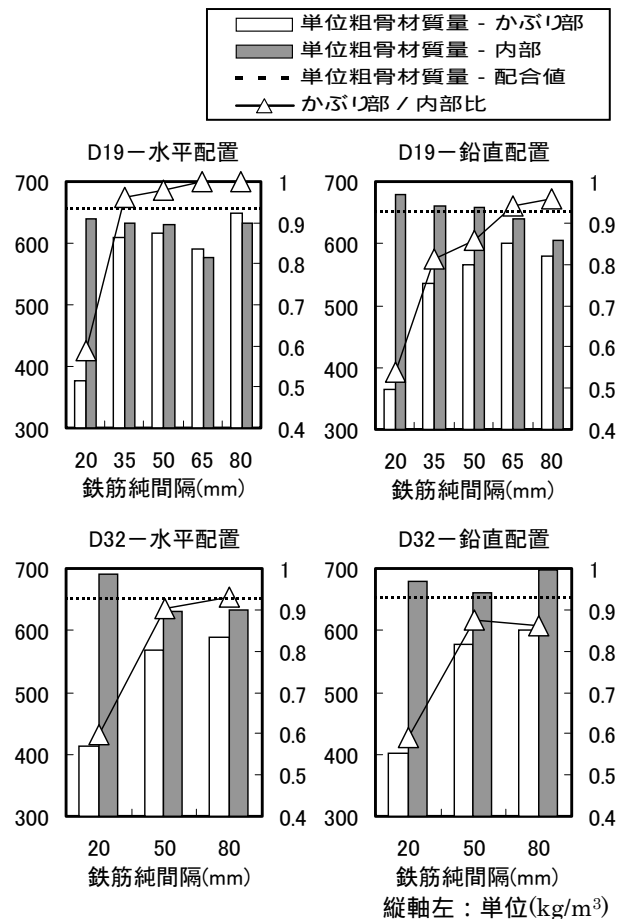


図 - 6 単位粗骨材(10～20mm)質量

を 1m³ あたりの値で示す。鉄筋の純間隔が狭くなるにつれ，かぶり部と内部におけるコンクリートの品質の差異が次第に大きくなることが読み取れる。その程度は鉄筋径，配置方向により異なるが，いずれの場合においても純間隔が 20mm の場合には単位粗骨材質量についてかぶり

り部 / 内部比が約 40%と極端に低下する傾向が認められる。これは、純間隔が粗骨材最大寸法と同程度では鉄筋近傍に粗骨材が凝集することで流動が阻害され、モルタルが空隙部を充填しないために、構造体内部に欠陥が生じる危険性があることを示している。

同一鉄筋径における配置方向の違いで比較した場合、D19 では水平配置の方がかぶり部 / 内部比は若干高めの値をとっており、均一性は良好となる結果となった。これは充填面積率と逆の傾向であり、粗骨材とモルタルの分離に関しては鉛直方向鉄筋の影響が大きいようである。

図 - 6 より、鉄筋純間隔、配置方向の違いによってかぶり部コンクリートの品質に差異が生じることから、配筋状況による影響度を事前に数値化し評価できる可能性が示唆される。

3.7 影響度の数値化

表 - 6 に充填面積比率より算出したかぶり部への平均充填速度(式(2)より算出)を鉄筋の純間隔および配置方向で整理したものを示す。

$$\text{平均充填速度} = \frac{M \times \frac{\text{かぶり部全体の面積}}{28^2(\text{cm}^2)} \times \frac{\text{純かぶり}}{5(\text{cm})}}{\frac{\text{締固め時間}}{10(\text{s})}} \times \frac{3600}{1000000} \quad (2)$$

ここに、 M は図 - 4 の充填面積比率曲線下の面積(0 ~ 10s)である。流動障害としての鉄筋の存在によりコンクリートの流動が妨げられ、平均充填速度は低下すると考えられるが、表はこのことを数値的に示したものとなっている。内部とかぶり部で流動性の相違が生じると、変形性の低下により鉄筋周辺や型枠表面で豆板が発生することが指摘されており³⁾、耐久性および美観の点において欠陥となる。本研究の範囲内では安全側と危険側の境界となる数値を把握するには至っていないが、今後硬化コンクリートの諸物性を調べることにより、判断基準を明確にする必要がある。

表 - 7 にかぶり部における単位粗骨材質量(10 ~ 20mm)の配合値に対する変動量を鉄筋の純間隔および配置方向で整理したものを示す。使用コンクリート・内部振動機の性能・締固め方法

表 - 6 平均充填速度(m³/h)

平均充填速度	鉄筋純間隔(mm)				
	20	35	50	65	80
D19水平	0.46	3.07	3.54	4.46	6.24
D19鉛直	1.17	3.04	5.69	5.74	6.81
D32水平	0.49	/	5.27	/	6.46
D32鉛直	1.55	/	5.38	/	6.40

表 - 7 単位粗骨材質量(かぶり部)の変動量

単位粗骨材質量の変動 (10~20mm)	鉄筋純間隔(mm)				
	20	35	50	65	80
D19水平	-44%	-9%	-8%	-12%	-3%
D19鉛直	-45%	-20%	-16%	-10%	-13%
D32水平	-38%	/	-15%	/	-12%
D32鉛直	-40%	/	-14%	/	-10%

等がある特定な場合の一例ではあるが、配筋状況がかぶり部の充填性に与える影響の大きさがある程度把握することができたと思われる。

4. まとめ

本研究の範囲内で得られた知見を以下に示す。

- (1) 鉄筋の純間隔が粗骨材最大寸法程度の場合にはかぶり部の充填性が非常に低下する。
- (2) 同一径の鉄筋を同一の純間隔で配置した場合でも配置方向によってかぶり部コンクリートの充填性に及ぼす影響が異なり、粗骨材とモルタルの分離には鉛直配置した場合により大きな影響がある。
- (3) 配筋によるかぶり部コンクリートの充填性に与える影響度を事前に数値化し評価できる可能性が示唆された。

参考文献

- 1)吉野公, 西林新蔵, 井上正一, 権赫文: 高流動コンクリートの流動性評価に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.15, No.1, pp.119-124, 1993.6 など
- 2)土木学会: 平成 8 年度版 コンクリート標準示方書[設計編], 1996.3
- 3)近松竜一, 三浦律彦, 十河茂幸: 高流動コンクリートの自己充てん性に及ぼす打設方法の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, pp.925-930, 2000.