

# 報告 高強度コンクリートの実構造物における硬化性状の検討

澁田安浩<sup>\*1</sup>・一瀬賢一<sup>\*2</sup>・長尾覚博<sup>\*3</sup>・中根淳<sup>\*4</sup>

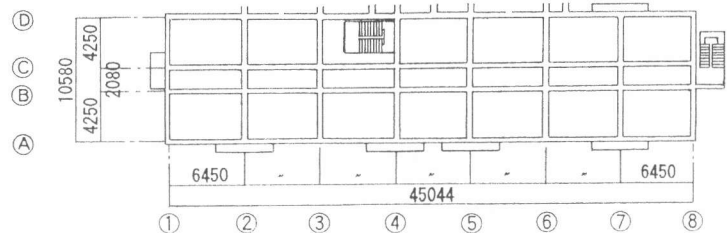
**要旨**：本報告では、実構造物におけるFc60MPa級の高強度コンクリート打設に伴うフレッシュコンクリートの品質変動の確認、硬化後の強度およびひび割れ発生現象についての検証を行った。(1)フレッシュコンクリートの品質変動は、いずれも管理値内となり、安定した品質のコンクリートが得られることを確認した。(2)実構造物におけるひび割れ発生に関して、ひび割れの制御には鉄筋比を増加させることが、有効な手段であるであることを実験的・解析的に確認した。また、外壁面のひび割れは、高強度および普通コンクリートともほぼ同程度で、有害なひび割れ幅未満であることを確認した。

**キーワード**：高強度コンクリート、ひび割れ、ひずみ、温度履歴、品質変動

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート造は、一般に優れた居住性、経済性、耐久性等により用いられてきた。超高層RC建物に用いられるのは、最近では設計基準強度60MPa級の高強度コンクリートが使用されてきている。しかし、高強度コンクリートが実現場で適用された後、構造体コンクリートとしての高強度コンクリートの挙動を追跡調査した事例は少ない。

そこで、本報告では、実現場に適用された設計基準強度60MPa級の高強度コンクリートに関して、(1)実構造物打設に伴うコンクリートの品質変動の確認、(2)実構造物に打設した場合におけるひび割れ発生現象の追跡調査を行った。(1)に関しては、出荷時および現場において各種フレッシュ時および硬化後の試験を行うことにより確認した。(2)に関しては、ひび割れ発生状況の現場調査を行い、ひび割れ指数算定およびひび割れ幅解析を実施し、検証を行った。

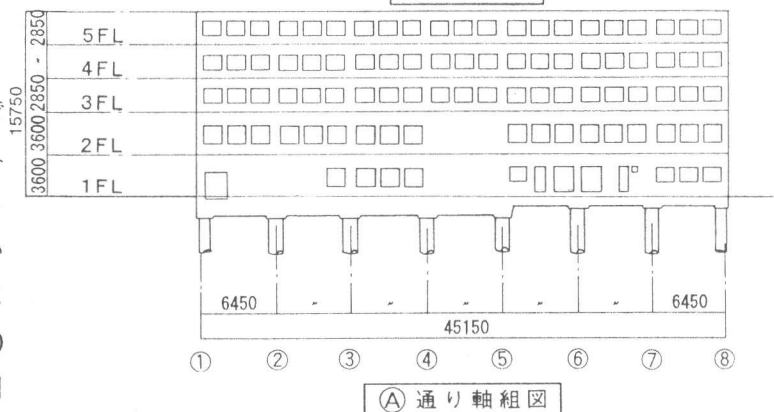


基準階伏図

## 2. 実験概要

### 2.1 施工箇所

建物概要は、RC造5階建ての建物である。工法は在来工法に加え、打込み型枠およびプレキャストコンクリート版を用いた。普通コンクリートを用いた設計による構造物の基準階の一層に設計基準強度60MPa(以下、Fc60MPa)の高強度コンクリートを打設した。図1に基準階伏図および軸組図を示し、



(A)通り軸組図

図1 基準階伏図および軸組図

\*1 (株)大林組 技術研究所 建築第二研究室研究員、工修(正会員)

\*2 同副主任研究員、工修(正会員) \*3 同主任研究員、工博(正会員) \*4 同室長、工修(正会員)

表1 高強度コンクリートの標準調合および目標値 [Unit: kg/m<sup>3</sup>]

W/C(%)	W	C	S	G	Ad(%/C)	Air(%)	Sf(cm)	Temp
27.5	165	600	692	975	1.7	2.5 ± 1.0	65 ± 5	35℃以下

ここで、W/C (%) : 水セメント比、W : 単位水量、C : 単位セメント量、S : 単位細骨材量、G : 単位粗骨材量、Ad : 高性能AE減水剤量、Air : 目標空気量、Sf : 目標スランプフロー値、Temp : 目標コンクリート温度

表2 測定項目

試験項目	
フレッシュ時	スランプ試験、フロー試験、Oロート試験、空気量、単位容積質量、コンクリート温度
硬化後	出荷時・荷卸し時の標準養生強度、荷卸し時の封かん・水中養生強度、封かんひずみ

表3 ひび割れ観察部材のシリーズ名

せき板 存置期間 (日)	鉄筋比(%)		柱C 壁W25
	0.90% 梁G1	1.65% 梁G3	
1	G1-1	G3-1	C-1,W25-1
2	G1-2	G3-2	C-2,W25-2
3	G1-3	G3-3	C-3,W25-3
7	G1-7	G3-7	C-7,W25-7

表1に高強度コンクリートの標準調合および目標値を示す。4階軸組部分の躯体にFc60MPaの高強度コンクリートを打設し、各種の測定を行った。同様の平面プランにおいて、普通強度のコンクリート(Fc24MPa)を打設し、比較検討した。

## 2.2 測定項目

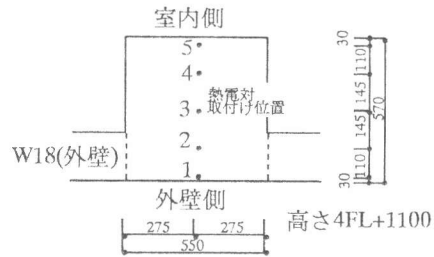
表2にフレッシュ時および硬化後の測定項目、図2に構造体内部での温度およびひずみの測定位置を示す。フレッシュ性状については、高強度コンクリートの品質管理とともに、流動性の保持に関しても管理した。表3にひび割れ観察した部材のシリーズ名の一覧を示す。組合せは、せき板存置期間4材齢に対し、梁の軸方向の鉄筋比2水準および柱・壁とした。

## 3. 実験結果および考察

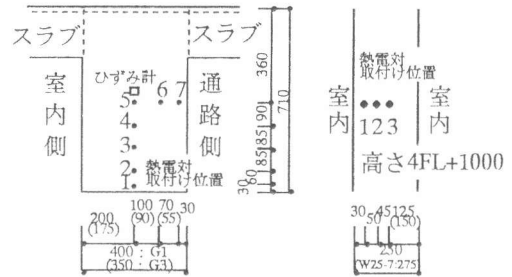
### 3.1 品質管理

表4にコンクリートの出荷時および荷卸し時の試験値の一覧を示す。管理項目は、スランプフロー、空気量およびコンクリート温度とした。各アジテータトラックでのプラント出荷時および現場荷卸し時のフレッシュ性状とも目標値内となった。また、コンクリートは高強度かつ高流動なコンクリートを目指したので、それに対応するコンシステンシー試験(フロー時間、Oロート流下時間 [1] 等)を行ったところ、いずれの測定値も出荷時および荷卸し時で安定した値を示した。したがって、実構造体に連続的に打設するにあたって、実機プラントで出荷管理が可能で、安定した品質のコンクリートが得られることを確認した。

圧縮強度は、出荷時と荷卸し時の標準養生供試体で比較すれば、いずれの材齢においても出荷時が荷卸し時の強度を上回り、Fc60MPaを十分満足する結果となった。静弾性係数は、初期材齢では強度発現に応じて大きくなったが、28日以降では $3.96 \sim 4.29 \times 10^4$ MPa程度となり、ほとんど変



(a)柱平面図



梁スパン中央部断面

(b)梁断面図

(c)壁断面図

図2 温度およびひずみ測定位置

表4 フレッシュコンクリートのコンシステンシー試験値および圧縮強度

		スランブ	スランブ フロー	フロー 50cm 時間	フロー 50cm 速度	空気量	単位容 積質量	単質/ 理論値	Oロート 流下時間	コンクリート 温度	標準養生 圧縮強度 (MPa)	
		(cm)	(cm)	(s)	(cm/s)	(%)	(t/m <sup>3</sup> )	(-)	(s)	(°C)	4週	13週
出荷時	平均	26.2	65.3	8.41	1.83	2.43	2.44	0.997	17.8	27.5	82.2	89.0
	標準偏差	0.6	2.3	1.53	0.27	0.34	0.01	0.003	3.3	0.7	1.2	4.0
荷卸し 時	平均	26.6	63.4	7.23	2.20	2.25	2.45	1.003	26.7	26.5	76.5	83.2
	標準偏差	0.5	3.1	1.99	0.50	0.28	0.02	0.008	15.3	1.0	0.8	1.6

サンプル数：フレッシュ時=15, 圧縮強度=12

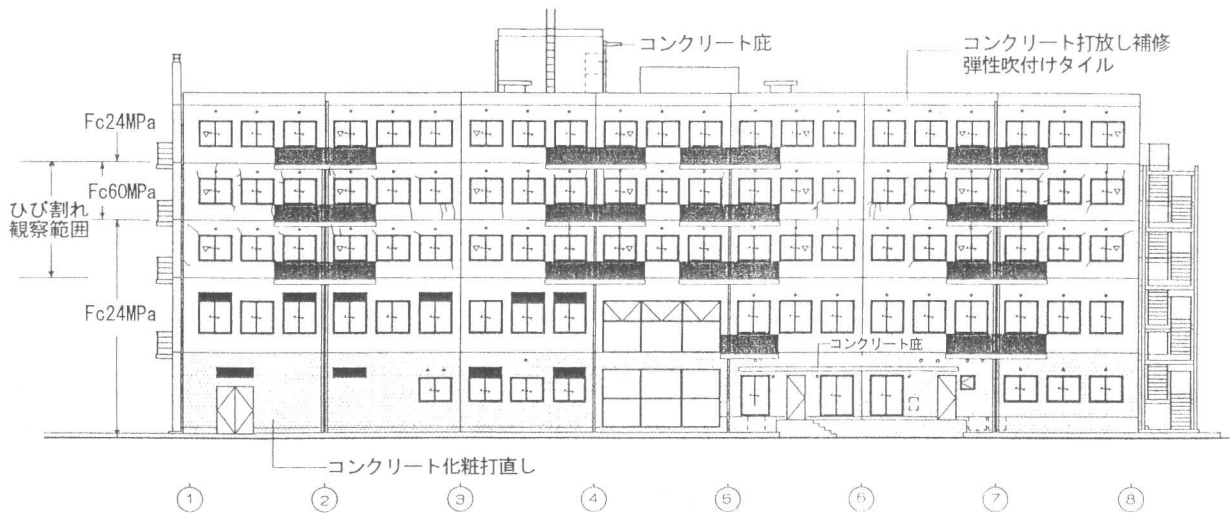


図3 外壁面のひび割れ状況

化しないことを確認した。

### 3.2 ひび割れ

屋内の部材において、せき板存置期間を4段階(1,2,3,7日)に設定し、ひび割れ発生に及ぼす影響を調べた。しかし、ひび割れ発生は、せき板存置期間とはあまり関係なく、鉄筋比の小さいG1の梁では、3日および7日に脱型した梁部材にひび割れが観察され、早期に脱型した部材にはひび割れは発生しなかった。鉄筋比の大きいG3の梁では、1日脱型の梁部材のみひび割れが観察された。

ひび割れ幅および本数は、G1-3で最大0.08mmが2本、G1-7で0.08mmが1本、G3-1で0.04mmが1本であった。1本目のひび割れはほぼスパン中央部に発生し、2本目は端部からほぼ1/6の位置に発生した。壁および柱には、せき板存置期間にかかわらず、ひび割れは観察されなかった。また、別の階の同じ平面位置において、普通コンクリートを打設した柱および壁にはひび割れはなかった。

図3に外壁面のひび割れ観察状況を示す。1F~3Fおよび5F部分は普通コンクリート、4F部分のみを高強度コンクリートで打設した。図中には、測定部材周辺の躯体による拘束の度合いが同程度となる材齢31~38日のひび割れを示した。表5に外壁面の合計ひび割れ幅、最大ひび割れ幅およびひび割れ係数[2]等を示す。

ひび割れ幅を経時的にみれば、高強度コンクリートでは特に増加する傾向は認められなかった。また、

表5 外壁面のひび割れ一覧

Fc	ひび割れ 部位	合計幅 (mm)	スパン当り の幅 (mm)	最大幅(mm)		合計 本数 (本)	スパン当り の本数 (本)	ひび割れ係数 (スパン当りの幅 /1スパン長さ)
				西外壁面	東外壁面			
60	4階上部	3.93	0.28	0.30(垂壁)	0.20(梁貫通)	34	2.43	$43.4 \times 10^{-6}$
	下部	6.86	0.49	0.40(腰壁)	0.35(腰壁)	53	3.79	$75.9 \times 10^{-6}$
24	3階上部	3.31	0.24	0.35(垂壁)	0.25(垂壁)	30	2.14	$37.2 \times 10^{-6}$
	下部	4.36	0.31	0.30(腰壁)	0.25(腰壁)	29	2.07	$48.0 \times 10^{-6}$

スパン当りの平均ひび割れ幅は両者とも0.30mm未滿となり、ひび割れ係数は高強度コンクリートおよび普通コンクリートともほぼ同程度であった。また、高強度コンクリートは普通コンクリートより、貫通ひび割れ本数は少なかった。

### 3.3 温度およびひずみ

図2に示す位置で高強度コンクリート部材内部の温度およびひずみを測定した。図4および5に梁G1の中心部および各部材の中心部の温度履歴を示す。

打込み温度は28.7~30.7℃の範囲でばらつきは小さいが、部材内最高温度は約60~80℃と差が大きくなった。よって、温度上昇量も約32~55℃となり、普通強度のコンクリートとは大きく異なる。最高温度は、部材寸法の大きなものほど高くなった。部材内外の温度差も、部材寸法の大きなものほど大きくなった。

最高温度に達するまでの時間は、打設後いずれの部材においても15~18時間であった。最高温度に達した後、約7日までは外気温の変動の影響を受けなかった。また、せき板存置期間を変えたことによる最高温度の差異はほとんど認められなかったが、1~2日脱型より3~7日脱型の方が、脱型後の温度降下は若干緩慢であった。

図6に実ひずみおよび線膨張係数を示す。図中の線膨張係数は、熱応力を受けないように設置したひずみ計(無応力計)から測定したものである。

実ひずみは、せき板による保温状態を反

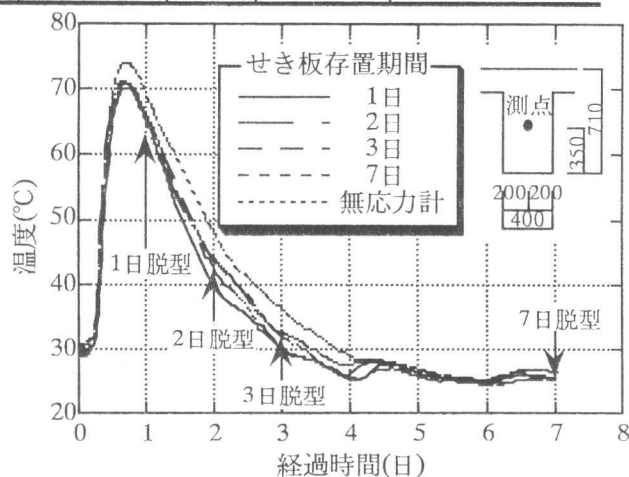


図4 温度履歴(梁G1中央ひずみ測定部)

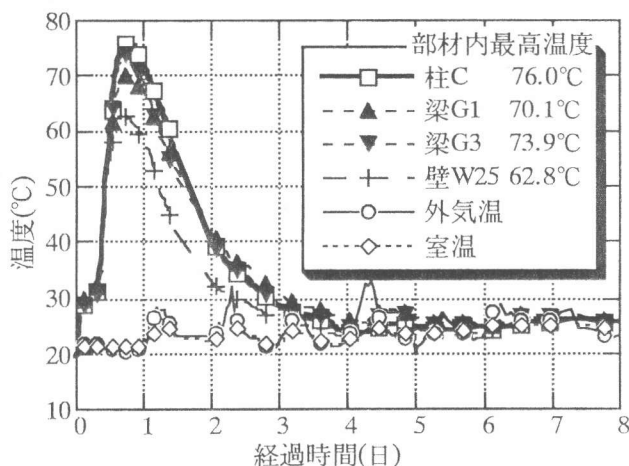


図5 各部材中心部温度履歴(1日脱型の部材)

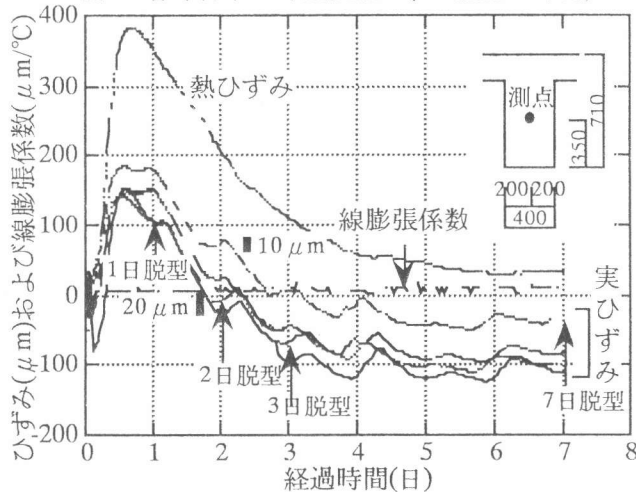


図6 実ひずみおよび線膨張係数

映したため、高温による圧縮ひずみのエネルギーを蓄積し、温度が低下するにしたがって圧縮ひずみが解放され、ひび割れ発生時期は3~7日脱型では2日目の直前と考えられる。ひび割れは、1本の場合は梁中央部に、2本目のある場合は端部より1/6程度の位置に発生した。また、発生位置は梁中央部で測定したひずみ計の位置とは重ならなかった。

1.5日目以降ではひずみ挙動は日変動の影響を受け始め、梁以外の部材のひずみ挙動および梁外周の温度変化の影響を受け始めている。図6中に示す2日前後の圧縮ひずみの上昇量(記号:■)が、1~2日脱型では約20 $\mu$ m、3~7日脱型では約10 $\mu$ mとなった。これは、3~7日脱型では材齢2日前後までにひび割れが発生し、外気温による圧縮ひずみの上昇量が抑えられたことを示すと考えられるためである。

### 3.4 温度ひび割れ指数

温度および線膨張係数により、JCI マスコンクリートのひび割れ制御指針 [3] に基づき温度ひび割れ指数を算定した。コンクリートの引張強度は現場水中養生供試体の圧縮強度の1/10とした。温度は実測値を用い、弾性係数は現場水中養生供試体の1/3接線弾性係数を用いた。

図7に、梁G1について算定した梁側方向および梁下方向のひび割れ指数の経時変化を示す。これによれば、温度ひび割れ指数は、梁側方向より大きな温度差の生ずる梁下方向でも、材齢1日前後には小さい値を示している。しかし、温度ひび割れ指数=1.5より大きな値となっており、JCIのマスコンクリートひび割れ制御指針に照らした算定法では、ひび割れの発生しない確率が95%以上とされる結論となった。

### 3.5 ひび割れ幅解析による検討

鉄筋量の異なる梁G1およびG3について、脱型1日目および3日目をとり上げひび割れ幅解析 [4] を行った。図8にひび割れ幅解析によるひび割れ幅の経時変化を示す。図中には、実際に発生したひび割れ幅を併記した。

解析によれば、いずれの梁にも、材齢約3~5日においてひび割れが発生することがわかった。鉄筋量の差によりひび割れ幅は、おおよそ2倍異なった。本ひび割れ解析は、温度に基づき、容積変化および弾性係数の経時的な変化を増分法で解析している。脱型時期による部材間の温度差は小さ

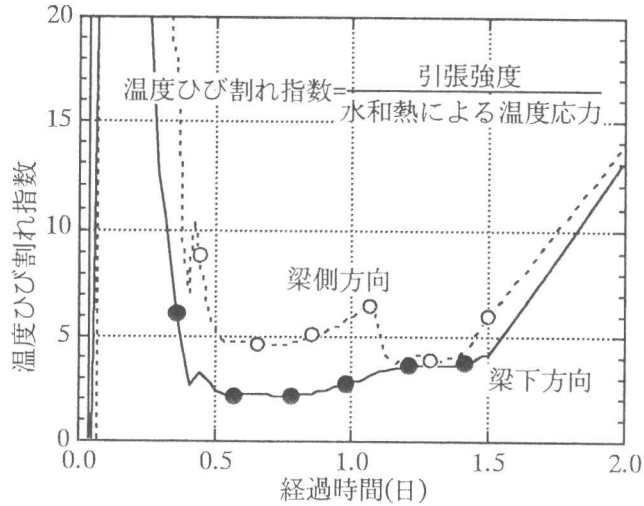


図7 ひび割れ指数の経時変化(梁G1-1日脱型)

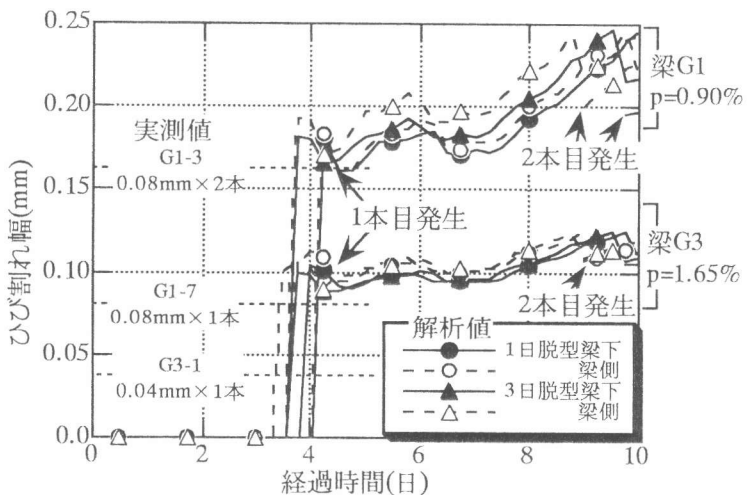


図8 解析によるひび割れ幅の経時変化

いため、せき板存置期間によるひび割れ幅の差異は小さい結果となった。

解析ではすべての梁のひび割れが予測されたが、本実験では発生しないものもあった。しかし、発生したひび割れ幅を比較すると、鉄筋比(図中では $p$ )の大きい梁ほどひび割れ幅が抑えられていることがわかり、解析と同様の傾向を示している。G1-3では脱型時に2本のひび割れが観察され、2本目のひび割れ発生時期が解析とは異なるものの、2本の合計のひび割れ幅は解析とほぼ同様であった。

この結果から、実際に発生するひび割れ幅は、実際のコンクリートに発生するひび割れ幅とほぼ同様かやや小さく、実際には発生しない部材もあることから、解析によりひび割れ幅を概略推定することが可能であるといえる。

#### 4. まとめ

Fc60MPa級高強度コンクリートの実構造物における打設を行い、品質変動の確認および実構造物におけるひび割れ発生現象についての検証を行い、以下のことがわかった。

- (1) フレッシュ性状は、各アジテータトラックでのプラント出荷時および現場荷卸し時とも目標値内となり、安定した品質のコンクリートが得られることを確認した。また、強度発現は設計基準強度を十分満足する結果となった。
- (2) 熱の影響によるひび割れに関して、せき板存置期間を変化させることによる大きな影響はなく、ひび割れの制御には鉄筋比を増加させることが、有効な手段であることを実験的・解析的に確認した。外部拘束によるひび割れに関して、外壁面におけるひび割れ幅は、高強度コンクリートおよび普通コンクリートともほぼ同程度で、有害でないひび割れ幅とされる0.30mm未満となった。また、高強度コンクリートは普通コンクリートと比較して、貫通ひび割れ本数は少ないことを確認した。

#### 【参考文献】

- [1] 三浦律彦・近松竜一・青木茂・十河茂幸：高流動コンクリートに関する基礎研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.13，No.1，pp.185-190，1991.
- [2] 佐久田昌治・大野定俊・浦野敏晴・斉藤俊夫：乾燥収縮低減剤によるコンクリート構造物のひび割れ制御、セメント・コンクリート、No.470，pp.8-14，1986.4.
- [3] マスコンクリートのひび割れ制御指針、日本コンクリート工学協会、1986.3.
- [4] 小柳光生・中根淳：マスコンクリートのひび割れ幅予測の提案、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15，No.1，pp.1167-1172，1993.