

2. 高強度コンクリートを使用した梁の初期挙動 に関する実験的研究 (その1. 小型モデルによる実験)

立松 和彦

要 旨

水セメント比が40%程度以下の高強度コンクリートを鉄筋コンクリート構造物（超高層RC造住宅など）に使用した場合、場所打ち部分の梁に、比較的早い時期にひび割れが生じることがある。このひび割れの発生を抑制、あるいは制御するために、その第一段階として小型モデルを作成し、梁の初期挙動を観測した。

実験の結果、ひび割れの発生をみるには至らなかったが、コンクリート内部の歪・コンクリート表面の歪・鉄筋の歪など、初期挙動に関するデータが得られたので報告する。

キーワード

高強度コンクリート／ひび割れ／場所打ち梁／初期挙動／温度ひび割れ／乾燥収縮ひび割れ／コンクリートの歪／鉄筋の歪

目 次

1. はじめに
2. 実験No.2（2-M1）
3. 実験No.3（3-M1）
4. ま と め

2. EXPERIMENTAL RESEARCH INTO INITIAL BEHAVIOUR OF HIGH STRENGTH CONCRETE BEAMS (Part1. Small Scale Model Experiments)

Kazuhiko Tatematsu

Abstract

Where the water-cement ratio in high strength concrete, used in reinforced concrete structures (high-rise RC dwelling structures), is less than 40%, for sections with cast-in place beams, cracking can occur comparatively early. To inhibit the occurrence of this cracking or to control it, as a first step a small scale model was built, and the initial behaviour of the beam was observed.

The results from these experiments were not in agreement with the occurrence of the cracking seen, but the data obtained in relation to the initial behaviour, the strain inside the concrete, on the surface of the concrete and in the reinforcement, is detailed.

1. はじめに

本研究は、高強度コンクリートを打設した場所打ちの梁に生じることの多いひび割れの発生を抑制、あるいは制御することを目的として行ったものである。

実験No.2・実験No.3に先立って行った実験No.1シリーズでは、「場所打ちの梁に載せかけたハーフPCa床板がコンクリート打設後の梁の挙動を拘束することにより、梁にひび割れを発生させる要因となるのかどうか」を検討したが、モデルが小さかったこともあって望ましい結果はほとんど得られなかった。そのため、ここでは実験No.1の結果の報告は省略する。今回の実験No.2, No.3では試験体をNo.1より少し大きくし、また、歪などを計測して定量的な検討が行えるようにした。

実験No.2(2-M1)では、梁の「構成方法」即ち、一体打設と分割打設(一方向のハーフPCa合成ばりを意図している)との違いによる梁の初期挙動の差に着目して実験を行った。

実験No.3(3-M1)では、「梁の大きなかぶり厚さ(当社の開発した超高層RC造住宅システムA-HRC30の梁断面では、梁底のかぶり厚さが106mmと、かなり大きな値となっている)が要因となって、梁にひび割れが発生するのかどうか」という点に着目して実験を行った。

ひび割れの発生要因としては、上記のような構法的な要因の他にも、高強度コンクリートであることによる温度ひび割れや、材料の品質・施工的な要因に起因する乾燥収縮ひび割れなどが複雑にからみ合っているものと考えられるが、この実験では構法的な要因に限定して行った。

2. 実験No.2(2-M1)

2.1 実験目的

実験No.2(2-M1)では、梁の「構成方法」即ち一体打設と分割打設(ハーフPCa合成ばりを意図している)の違いによる梁の初期挙動の差に着目して実験を行った。また、鉄筋の有無による挙動の違いも検討した。

2.2 使用材料および配合

実験に使用した材料は表-2.1に示す通りである。実験No.2では粗骨材最大寸法を13mmとし、細骨材の一部に珪石粉を使用した。スランブは18cm、空気量は4%とし、高性能AE減水剤および補助AE剤を用いた。コンクリートの配合を表-2.2に示す。なお、コンクリートの打設時期は、実験No.2シリーズでは3月末および4月中旬、実験No.3シリーズでは5月中旬である。

表-2.1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント、比重=3.16
水	水道水
細骨材 S1	淀川産 川砂 5mm for 2-M1F; 比重=2.53, F.M.=3.16
S2	for 2-M1B, 3-M1; 比重=2.54, F.M.=3.04 ケイ石粉(2-M1FのみS1の内割で5%使用) 合成 F.M.=3.00
粗骨材 G1	高槻産 砕石 20mm-13mm、比重=2.68
G2	高槻産 砕石 13mm-5mm、比重=2.54, F.M.=6.13 合成 G1:G2=60:40、合成 F.M.=6.71
混和剤	高性能AE減水剤 SP-9N 補助AE剤 775S

表-2.2 コンクリートの配合

実験区分	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						混 和 剤	
			W	C	S1	S2	G1	G2	SP-9N (C×%)	775S (C×%)
2-M1F (先打ち部)	40.0	46.0	175	438	752	S1の 内割 5%	0	936	1.1	0.0035
2-M1B (後打ち部)							0	0	1.2	0.0030

2.3 試験体および測定項目

試験体は、表-2.3に示す5体とした。寸法は、W100×H150×L1800mmである。合成ばりとなるC-40B①、C-40B②の下部はコンクリートを先に打設(「2-M1F」とする)し、上部は他の試験体と同時に打設(「2-M1B」とする)した。コンクリートの打設は屋外で行い、屋外養生(シート掛程度)とした。型枠の脱型は「2-M1B」打設後とし、材令3日で行った。

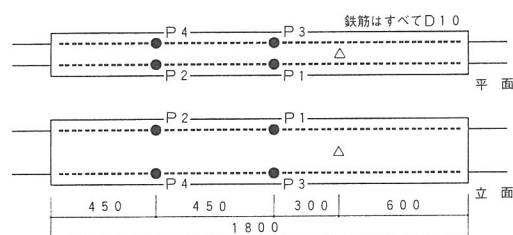
テストピースはφ10×20cmとし、材令3日、7日、28日で圧縮強度およびヤング係数を測定した。

試験体のコンクリート内部の温度と歪を埋込み型ひずみ計KM-100Bで、鉄筋の歪をワイヤストレーンゲージ(W.S.G.)で測定した。試験体および各測定点を図-2.1に示す。なお、鉄筋の梁断面に対する鉄

表-2.3 試験体区分

試験体記号	はりの構成方法	鉄筋
S-40B①	一体打設	あり
S-40B②	一体打設	あり
S-40	一体打設	なし
C-40B①	分割打設	あり
C-40B②	分割打設	あり

筋比は実部材（A-HRC30における梁部材）とほぼ同じ値（D10-4本で約1%）としている。歪の測定は、2-M1B 打設後、約3週間行った。また、C-40B①のひずみ計および鉄筋に取りつけたW.S.G.の一部は「2-M1F」打設時にコンクリート中に埋まっているが、「2-M1B」打設時の値を初期値として測定を開始している。



断面	20 150 20 30 20 100	20 150 20 30 20 100	20 150 20 30 20 100	20 150 20 30 20 100	20 150 20 30 20 100
試験体記号	S-40B①	S-40B②	S-40	C-40B①	C-40B②
鉄筋ゲージ	P1~P4	P1, P2	---	P1~P4	P1, P2
埋込み型歪計	あり	なし	あり	あり	なし

●：鉄筋ゲージ貼りつけ（2枚貼り／か所）

斜線部：コンクリート先行打設

△：埋込み型歪計

図-2.1 試験体

2.4 試験結果および考察

フレッシュコンクリートの試験結果を表-2.4に、コンクリートの圧縮強度およびヤング係数の試験結果を表-2.5に示す。試験体断面中央でのコンクリート温度（2-M1B 打設後）を図-2.2に示す。外気温は図中に示していないが、「2-M1B」のコンクリート温度は、コンクリート打設後の早い時期から外気温の変動とほぼ一致した温度の推移になっていた。

また、試験体3体の内部温度は比較的一致していた。

各試験体では、外気温が低いこと、部材断面が小さいこともあって、硬化初期の水和発熱はほとんど見られなかった。このため、初期挙動の重要な要因である温度ひび割れ発生の可能性を検討することはできなかった。

表-2.4 フレッシュコンクリートの試験結果

実験区分	試験結果			
	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度(°C)	スランプロー (mm)
2-M1F (先打ち部)	16.0	5.2	18.0	***
2-M1B (後打ち部)	17.8	4.7	23.0	288×278

表-2.5 強度試験結果

実験区分	養生条件	圧縮強度 (kgf/cm ²)			ヤング係数 (×10 ⁵ kgf/cm ²)		
		3日	7日	28日	3日	7日	28日
2-M1F (先打ち部)	標準	**	499	604	**	3.15	3.41
	封かん	246	365	468	2.32	2.72	3.12
2-M1B (後打ち部)	標準	**	459	586	**	3.06	3.33
	封かん	287	396	497	**	2.82	3.18

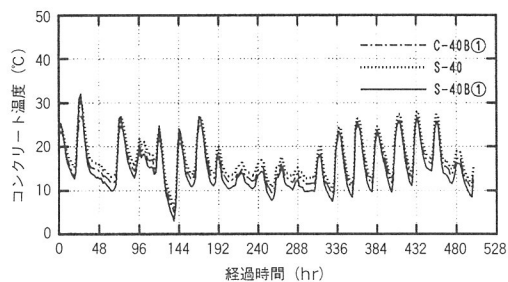


図-2.2 試験体の温度推移

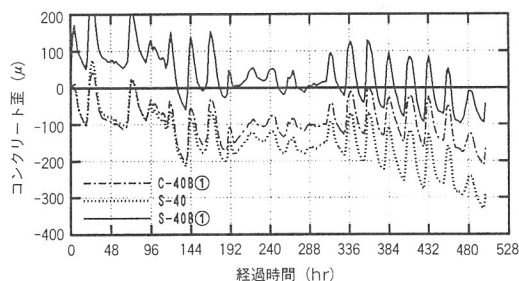
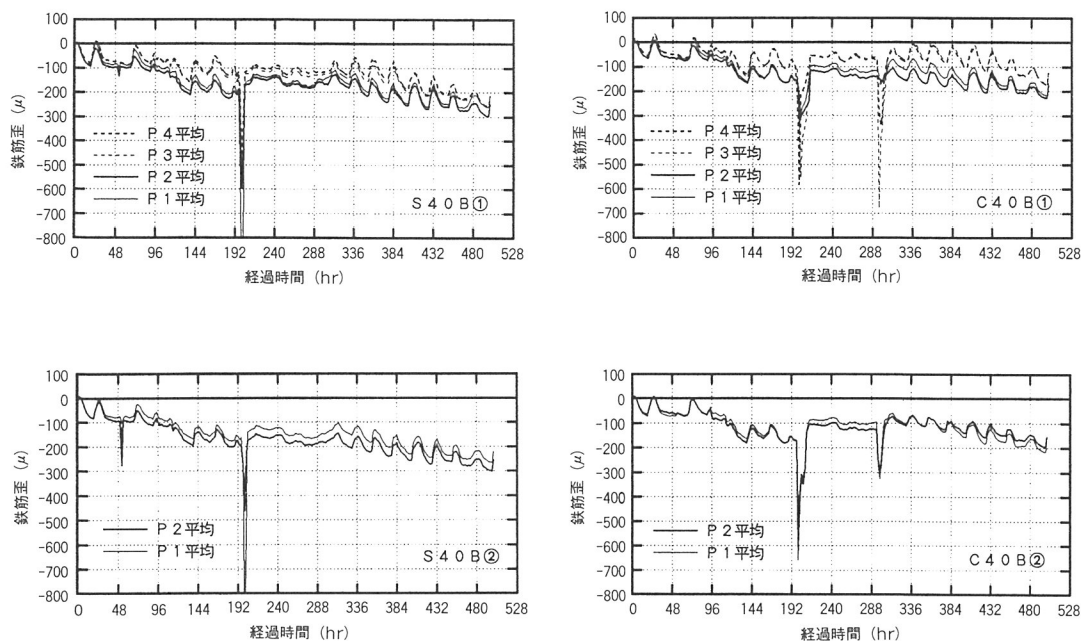


図-2.3 コンクリート内部の歪



図－2.4 鉄筋の歪

試験体内部のコンクリートの歪を図－2.3に、鉄筋の歪を図－2.4に示す。図－2.2のコンクリート温度の変動に伴って、コンクリートの歪も変動しているのがわかる。鉄筋の歪については、一時的に大きな歪を示しているところもあるが、その原因は不明である。これらの結果から、梁の構成方法の違いに関しては、一体打設の方が分割打設に比べて鉄筋の歪はやや大きな値を示し、一方、コンクリートの歪はわずかに小さな値を示して、全体としては共に収縮の方向に向かっている。鉄筋の有無に関しては、コンクリート打設直後から無筋の試験体(S-40)のコンクリート内部歪が有筋のもの(S-40B①)にくらべて大きくなっている。このことは鉄筋の拘束によるものと考えられる。なお、いずれの試験体もひび割れは発生しなかった。

試験体の寸法は、W260×H200×L1700mmである。コンクリートの打設は屋外で行い、養生は梁の内部側にあたる側面と上部とを発泡スチロール(40mm)で保温養生とした。型枠の脱型時期は材令6日とし、脱型の翌日に試験体側面に測定チップを接着剤で貼付け、コンタクトゲージを用いてコンクリート表面の歪の測定を開始した。試験体のコンクリート内部の温度・歪、鉄筋の歪は実験No.2と同様に測定した。試験体および各測定点を図－3.1に示す。歪の測定は、コンク

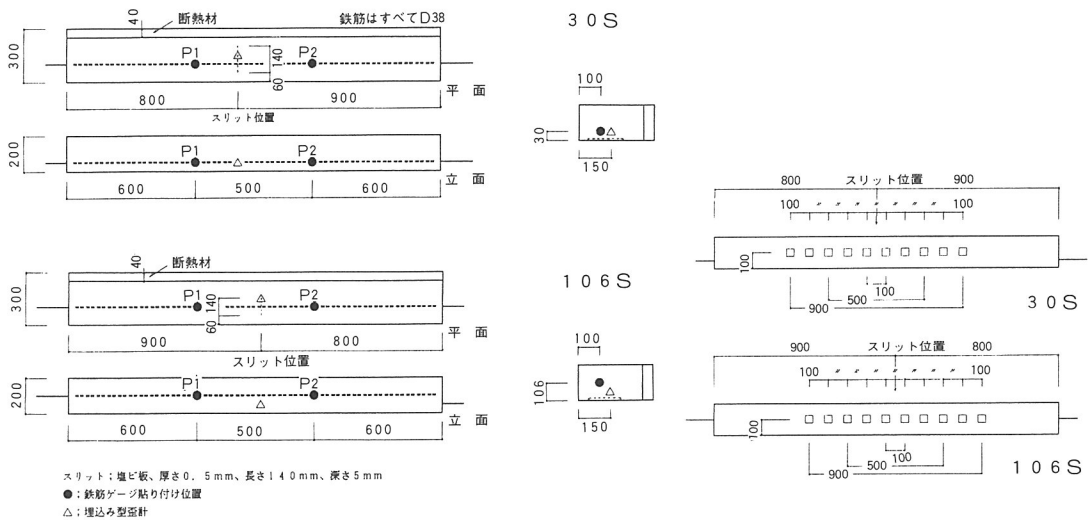
3. 実験No.3 (3-M1)

3.1 実験概要

実験No.3 (3-M1)では、梁のかぶり厚さの違いによる試験体の挙動の差に着目して実験を行った。試験体は表－3.1に示す106Sと30Sの2体とした。これらの試験体は、実大の梁部材の底面、側面を含む一部を想定している。梁筋はSD345のD38を用いた。

試験体記号	かぶり厚さ (mm)	鉄 筋	スリット
106S	106	あり	あり
30S	30	あり	あり

実験区分	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						混 和 剤	
			W	C	S1	S2	G1	G2	SP-9N (C×%)	775S (C×%)
3-M1	40.0	46.0	175	438	752	0	561	374	1.2	0.0030



図－3.1 試験体コンタクトゲージ取付け位置

リート打設後材令4週まで行った。テストピースは実験No.2と同様とした。

なお、実験No.3では粗骨材最大寸法を20mmとし、珪石粉は使用していない。表－3.2にコンクリートの配合を示す。

3.2 試験結果および考察

フレッシュコンクリートの試験結果を表－3.3に、コンクリートの圧縮強度およびヤング係数の試験結果を表－3.4に示す。圧縮強度は、実験No.2に比べて標準養生したものが低く、封かん養生したものは若干高くなった。

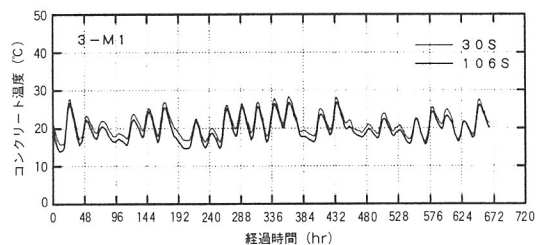
試験体のコンクリート温度の推移を図－3.2に示す。実験No.2と同様に、コンクリートの内部温度は、外気温の変動に追従した推移となっており、また、試験体106Sと30Sとの内部温度の差異は見られなかった。

表－3.3 フレッシュコンクリートの試験結果

実験区分	試験結果			
	スランブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度(℃)	スランブロー (mm)
3-M1	20.4	3.6	23.5	354×342

表－3.4 強度試験結果

実験区分	養生条件	圧縮強度 (kgf/cm ²)			ヤング係数 (×10 ⁴ kgf/cm ²)		
		3日	7日	28日	3日	7日	28日
3-M1	標準	**	405	523	**	3.00	3.32
	封かん	306	391	512	2.58	3.04	3.38



図－3.2 試験体の温度推移

試験体内部のコンクリートの歪を図－3.3に、鉄筋の歪を図－3.4に示す。時間経過と共に、コンクリート・鉄筋の歪は徐々に収縮の方向へと推移しているのがわかる。コンクリートの歪は、30Sより106Sの方がやや大きくなっているが、これは106Sの方がかぶり厚さが大きいことに起因するものと考えられる。鉄筋の歪については、106Sと30Sの差はほとんどないと考えられる。

図－3.5にコンクリート表面の歪を示す。106Sの

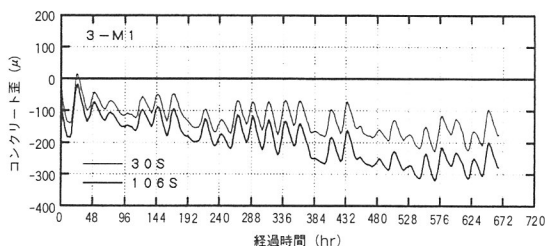


図-3.3 コンクリート内部の歪

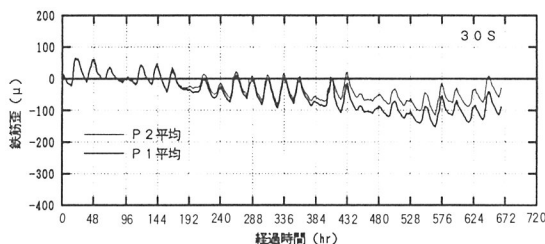
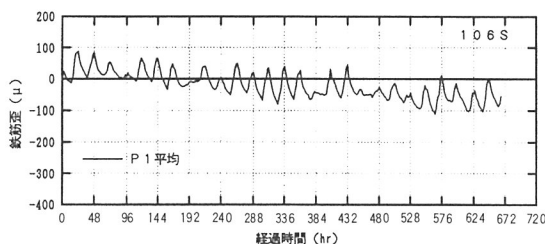


図-3.4 鉄筋の歪

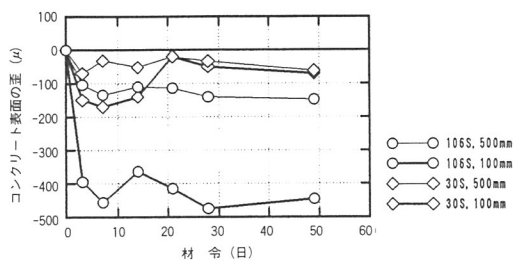
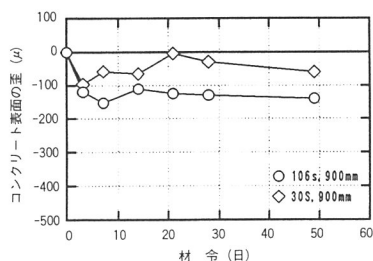


図-3.5 コンクリート表面の歪

中央部（スリット位置）100mm の収縮が大きく、同じ 106S 中央部の 500mm, 900mm および 30S の歪には大きな差がなかった。また、中央部同一断面の歪を検討するとかぶり厚さの大きい 106S の場合、コンクリート表面で 400~500 μ 、鉄筋で 0~100 μ 、コンクリート中央部で 200~300 μ となり、同一断面であっても必ずしも歪は一樣に分布していないことがわかる。しかし、30S の場合は同一断面で見ると、表面から内側に向かって 100 μ , 50~150 μ , 100~200 μ とあまり大きな差がなかった。

これらの結果から、かぶり厚さが大きいとコンクリート表面付近のコンクリート歪も大きくなり、場合によってはひび割れの発生に至る危険性もあるものと考えられる。なお、現時点（コンクリート打設後 3 ヶ月）では試験体にひび割れは発生していない。

4. まとめ

今回の実験の結果、以下のようなことが観察できた。

①コンクリート温度（水和発熱）を実験の要因としてとらえる場合、試験体の断面が小さいと十分な水和発熱が得られず、コンクリート温度は打設後の早い時期から外気温に支配されてしまう。

②梁の構成方法の違いに関しては、一体打設の方が分割打設に比べて鉄筋の歪はやや大きな値を示し、一方、コンクリートの歪はわずかに小さな値を示した。

③有筋の方が無筋のものよりコンクリート内部の歪は小さくなる。

④コンクリートの同一断面で歪の値を比較した場合、その分布は必ずしも一樣ではない。

今後は、試験体の断面をさらに大きくし、また、温度ひび割れなどの解析的な検討も考慮して研究を進めていきたいと考えている。