

トラス状に配筋された鉄筋コンクリート梁の曲げ特性

三井 宜之^{*1}・村上 聖^{*2}・武田 浩二^{*3}・川口 真也^{*4}
森本 敏幸^{*5}・山崎 裕一^{*6}

Flexural Characteristics of Reinforced Concrete Beams with Truss-Shaped Reinforcing bars

Yoshiyuki MITSUI, Kiyoshi MURAKAMI, Koji TAKEDA, Shinya KAWAGUCHI,
Toshiyuki MORIMOTO and Yuichi YAMASAKI

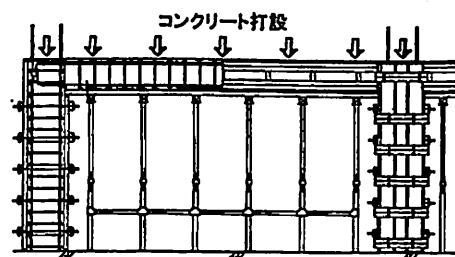
1. はじめに

通常の鉄筋コンクリート (RC) 梁では、主筋とあばら筋は互いに直交するように配筋されており、組まれた鉄筋ユニットの曲げ剛性は小さい。そこで、あばら筋を斜め方向に配置し、主筋を上下弦材、あばら筋を腹材とするトラス状配筋にすれば、曲げ剛性に優れた鉄筋ユニット (以下、鉄筋トラスと呼ぶ) を構成できる。この鉄筋トラスで、コンクリート打設時の施工荷重 (型枠とコンクリートの重量、作業荷重など) を支持できれば、梁下サポートの省略などの施工の合理化を図ることが出来る 1、2)。

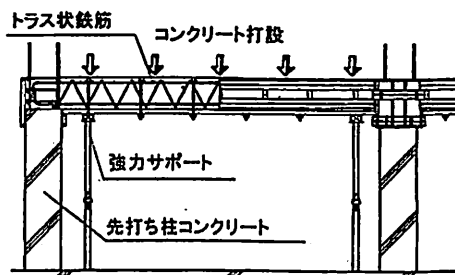
図 1 にその概要を通常の方式と比較して示す。通常の方式では、コンクリート打設時に多くの梁下サポートを必要とするのに対して、鉄筋トラス方式では、地上で型枠を鉄筋トラスに取付け、所定の柱間に吊り込み、コンクリートを打設することが可能であり、これにより現場作業の省力化が図れるとともに梁下サポートを大幅に削減することも可能となる。

本研究はトラス状に配筋された RC 梁について、鉄筋トラス自体の力学的性状、コンクリートの打設時の鉄筋の歪と型枠の変形状ならびに硬化した RC 梁の曲げ特性について実験的検討を行うとともに通常の方式で配筋された RC 梁との比較を行ったもので

ある。



1) 通常の方式



2) 鉄筋トラス方式

図 1 通常方式と鉄筋トラス方式の比較

平成11年1月8日受理

^{*1} 教授 環境システム工学科

^{*2} 助教授 環境システム工学科

^{*3} 助手 環境システム工学科

^{*4} 大学院生 大学院自然科学研究科博士前期課程

^{*5} ㈱銭高技術研究所 (大学院自然科学研究科博士後期課程在学中)

^{*6} ㈱銭高技術研究所

2. 鉄筋トラスの重錘載荷試験

鉄筋トラス自体の力学的性状を把握するために、コンクリート打設時と類似の支持及び荷重条件下で鉄筋トラスの重錘載荷試験を行った。

2. 1 試験概要

(1) 試験体および使用材料

図 2 に鉄筋トラスの組み立て方法の概要を示す。まず、溶接閉鎖型のあばら筋を 2 本ずつ所定の位置に配

置し、上端主筋に仮結束する。次に隣り合うあばら筋を交互にラチス状に開き、下端主筋に緊結する。次いで上端主筋とあばら筋を緊結し、主筋を上下弦材、あばら筋を腹材とする鉄筋トラスを構成する。

図3に鉄筋トラス試験体の形状寸法を示す。鉄筋トラスは上述の方法に準じて製作したもので、後出のRC梁試験体No.3とNo.4に使用する2体である。主筋は上端、下端ともD22を2本配し、あばら筋はD10の溶接閉鎖型鉄筋を、梁せいの中央で間隔が200mmなるように配した。主筋とあばら筋の結束にはφ3.2mmのなまし鉄筋を2本用い、シノで締め付けた。使用した鉄筋の素材試験結果は表1に示す。

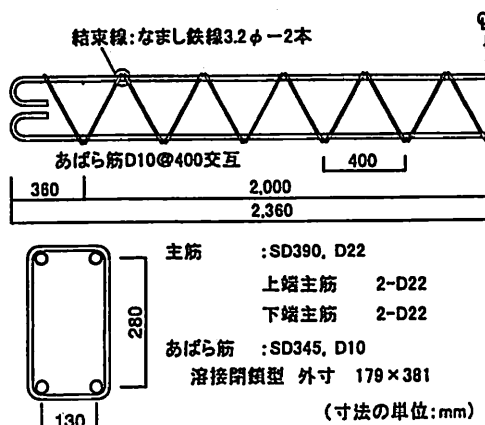


図3 鉄筋トラス試験体の形状寸法

表1 鉄筋の素材試験結果

種類	降伏点 (Mpa)	引張強さ (Mpa)	伸び (%)	弾性係数 (Gpa)
D22(SD390)	457	656	19.1	192
D10(SD345)	385	552	22.8	186

(2) 載荷および測定方法

載荷試験方法の概要を図4に示す。試験は後出のコンクリート打設試験と類似の支持および荷重状態でを行った。すなわち、試験体は吊り間距離2960mmの位置で2点吊りし、載荷点は型枠吊り下げ位置と同じ6箇所とした。載荷には重錘を使用し、1箇所当たりの荷重値W1はトラス1構面に付き23.6kgf (= 52.6

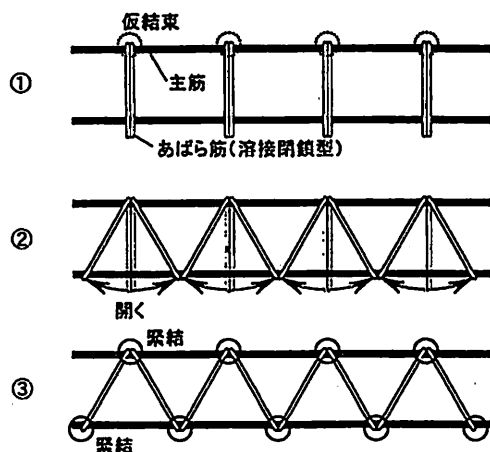


図2 鉄筋トラスの組立て方法

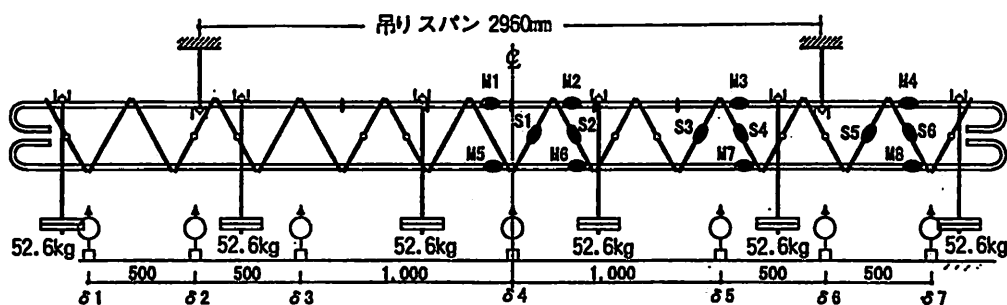


図4 載荷試験方法と測定方法（歪ゲージ：M1-M8、S1-S6、変位計：δ1-δ7）

kgf/2) とした。測定は図 4 に示すように、鉄筋の軸方向ひずみを歪ゲージにより、トラスの鉛直変位を変位計により計測した。

2. 2 試験結果および検討

表 2 と表 3 にそれぞれ鉄筋の軸方向歪とトラスの鉛直変位の測定結果を示す。同表中には鉄筋トラスの荷重状態を図 5 のようにモデル化した場合（弦材と腹材

の節点をピンと仮定）の線形平面骨組解析の結果を示す。Case 1 は完全なトラスと仮定した場合の結果を、また Case 2 は節点のゆるみを考慮して腹材のヤング係数を鋼のその 1/10 と仮定した場合の結果を示す。

表 2 より鉄筋の軸方向歪については、主筋では最大値が -25μ と小さいが、あばら筋では -48μ となっている。コンクリート打設時の総荷重 1480kgf において

表 2 鉄筋の軸方向歪の測定値と解析値の比較（単位： μ ）

ゲージ 番号	解析結果		実験結果 No. 3			実験結果 No. 4		
	case 1	case 2	1 回目	2 回目	3 回目	1 回目	2 回目	3 回目
M 1	-7.33	-7.12	-9.5	-2.5	-20.0	-8.5	-3.5	-7.5
M 2	-6.33	-6.10	-10.0	-4.0	-20.0	-25.0	-18.5	-25.5
M 3	2.61	2.25	-1.0	7.0	-9.0	1.0	5.0	2.5
M 4	2.03	2.01	0.0	8.0	-11.5	3.5	6.0	4.0
M 5	7.33	7.12	4.5	14.5	-5.5	7.5	11.0	7.0
M 6	7.33	7.12	5.5	14.5	-5.5	8.5	11.0	8.5
M 7	0.83	0.63	-2.5	-8.0	-13.5	1.5	4.5	0.5
M 8	-4.03	-3.84	6.5	-0.5	-17.5	-3.0	-1.5	-4.0
S 1	0.01	0.07	-1.0	7.5	-8.5	0.5	6.5	3.0
S 2	-9.42	-9.48	-14.0	-6.5	-21.0	-11.5	-7.0	-11.5
S 3	20.77	19.90	24.5	33.0	16.5	26.5	30.0	25.0
S 4	-32.12	-26.92	-38.0	-29.0	-48.0	-30.0	-26.5	-30.5
S 5	-9.35	-5.41	-12.5	-4.0	-21.0	-5.5	-4.0	-7.0
S 6	18.70	17.10	17.5	26.0	9.5	21.5	23.5	21.0

註 1 ゲージ番号：図 4 参照、M1 - M8；主筋、S1 - S6；あばら筋。

註 2 解析結果 Case 1：完全なトラスと仮定。

解析結果 Case 2：節点のゆるみを考慮して腹材のヤング係数を 1/10 と仮定。

表 3 トラスの鉛直変位の測定値と解析値の比較（単位：mm）

ゲージ 番号	解析結果		実験結果 No. 3			実験結果 No. 4		
	case 1	case 2	1 回目	2 回目	3 回目	1 回目	2 回目	3 回目
δ 1	0.0633	0.1861	0.995	0.740	0.800	0.330	0.350	0.385
δ 2	0.0630	0.1216	0.365	0.375	0.350	0.470	0.385	0.315
δ 3	0.0978	0.3005	0.895	0.880	0.745	0.830	0.645	0.685
δ 4	0.1489	0.5944	1.475	1.480	1.165	1.525	1.030	1.070
δ 5	0.0978	0.3005	0.855	0.870	0.705	0.025	0.570	0.565
δ 6	0.0630	0.1216	0.430	0.435	0.415	0.395	0.345	0.325
δ 7	0.0633	0.1861	0.615	0.580	0.575	0.615	0.480	0.485

註 1 変位計番号：図 4 参照

註 2 解析結果 Case 1：完全なトラスと仮定。

解析結果 Case 2：節点のゆるみを考慮して腹材のヤング係数を 1/10 と仮定。

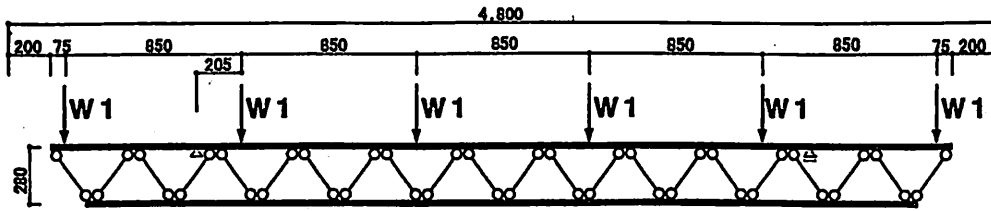


図5 鉄筋トラスの解析モデル

表4 梁試験体一覧

番号	配筋方法	コンクリート打設方法
Na 1	通常配筋	床置き打設
Na 2	トラス状配筋	サポート付き打設
Na 3	トラス状配筋	2点吊り打設
Na 4	トラス状配筋	2点吊り打設 (打込み型枠使用)

表6 打込み型枠の材料特性

比重	パネル重量 (kg/m ²)	圧縮強度 (Mpa)	曲げ強度 (Mpa)	曲げ弾性係数 (Gpa)
2.0	26.0	58.8	14.7	14.7

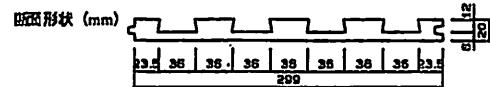


表5 コンクリートの素材試験結果

呼び強度 (Mpa)	スランプ (cm)	空気量 (Mpa)	圧縮強度 (Mpa)	弾性係数 (Gpa)
24	11.2	4.2	30	23.9

は、あばら筋の歪は最大 -225μ となるが、座屈強度時の歪値に比べるとかなり小さく、安全側にある。解析値 (Case 1) と実験値の対応は、弦材と腹材ともに概ね良好である。

次のトラスのたわみについては、表3に示す中央点の測定値から支持点の測定値を差し引いた値は最大1mm程度となっている。コンクリート打設時の総荷重1480kgfにおいては、たわみ値は約4.7mm程度となるが、スパン長 (2960mm) の約1/630と小さく、たわみ制限内に納まっている。解析結果と実験結果を比較すると、解析値は、Case 1 (完全なトラスと仮定した場合) では実験値の約1/10、Case 2 (節点のゆるみを考慮した場合) では実験値の約1/2となり、実験値が解析値を大きく上回る。これは、本実験の鉄筋トラスでは弦材と腹材は鉄線により結束しているため、節点のゆるみが予想外に大きく、曲げ剛性が完全なトラスに比べてかなり小さいことに起因すると考える。

2. 3 まとめ

鉄筋トラス自体の力学的性状を把握するために重錘載荷試験を行い、以下の知見が得られた。

- 1) 主筋およびあばら筋の歪は、完全なトラスと仮定した解析結果とよく対応した。
- 2) トラスのたわみは、節点のゆるみが予想外に大きかったため、完全なトラスと仮定した解析結果よりかなり大きくなった。
- 3) コンクリート打設時においても鉄筋の歪とトラスのたわみは小さく、安全側にあることを確認した。

3 コンクリート打設試験

コンクリート打設時の鉄筋の歪および型枠の変形性状を把握するために、型枠を取付けた鉄筋トラスを2点吊りした状態でコンクリート打設試験を行った。

3. 1 試験概要

(1) 試験体および使用材料

試験体の一覧を表4に、各試験体のコンクリート打設方法を図6に示す。試験体Na 1は通常的方式で配筋したもので、型枠を床に直置きした。試験体Na 2はトラス状に配筋したもの（鉄筋トラス）で、型枠にサポートを配した。試験体Na 3とNa 4はトラス状に配筋

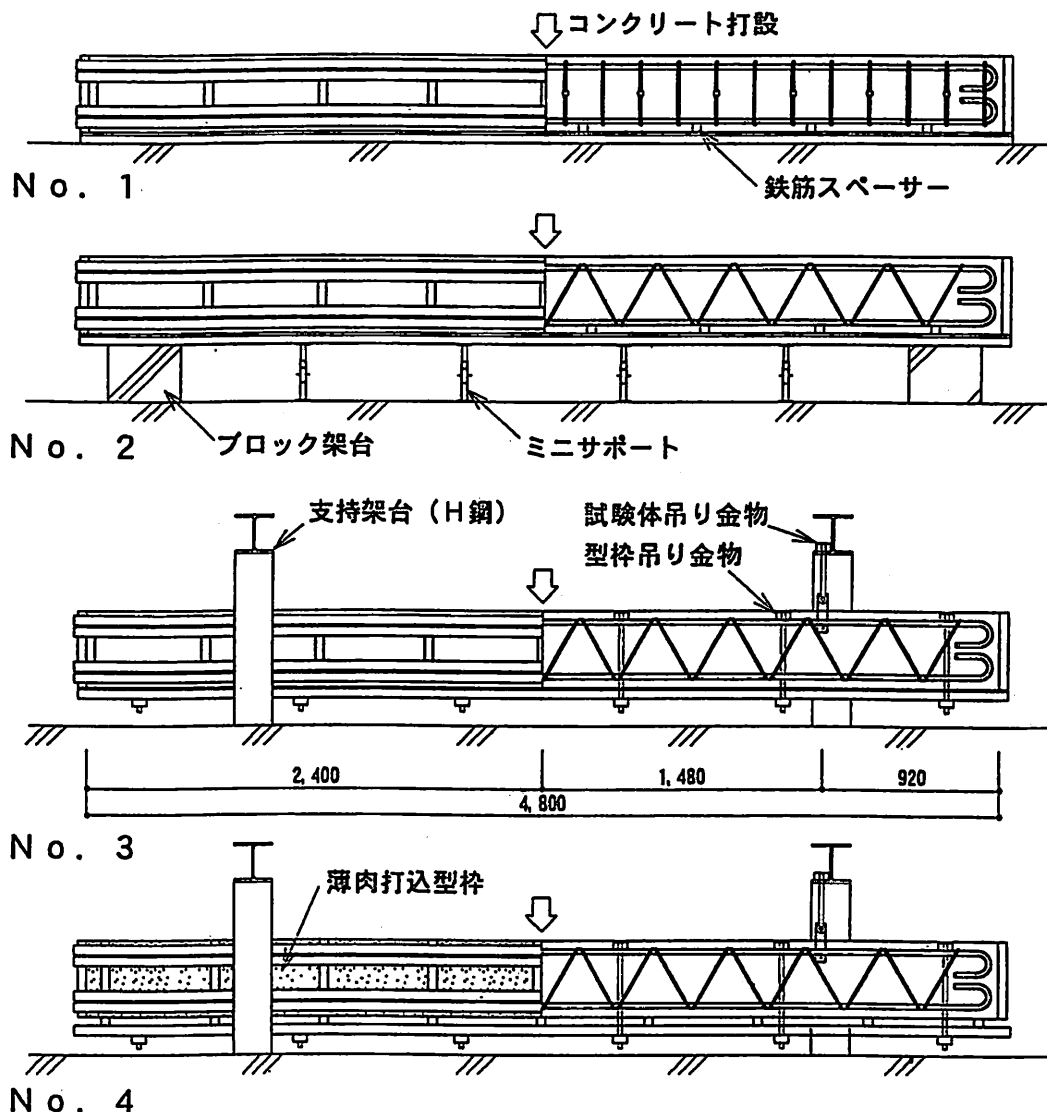


図6 RC梁試験体のコンクリート打設方法

したもの（重錘載荷試験に供した鉄筋トラス）で、型枠を取り付けた鉄筋トラスを吊り間距離2960mmで2点吊りにした。なお、試験体№4には、合板型枠に替えて成形セメント板の打込型枠を使用した。

試験体の形状および配筋は、図7に示す。なお、トラス状配筋の仕様は前出の図3と同じであるが、併せて示す。試験体の仕上がり寸法は幅250mm×せい400mm×長さ4800mmで、主筋には上端・下端とも

D22を2本配した。あばら筋にはD10の溶接閉鎖型鉄筋を使用し、通常配筋では200mm間隔に、またトラス状配筋では中央で200mm間隔になるように斜めに配した。

鉄筋とコンクリートの素材試験結果は、それぞれ前出の表1および表5に示す。打込型枠は、表6に示す断面形状と材料特性の押出し成形セメント板を使用した。

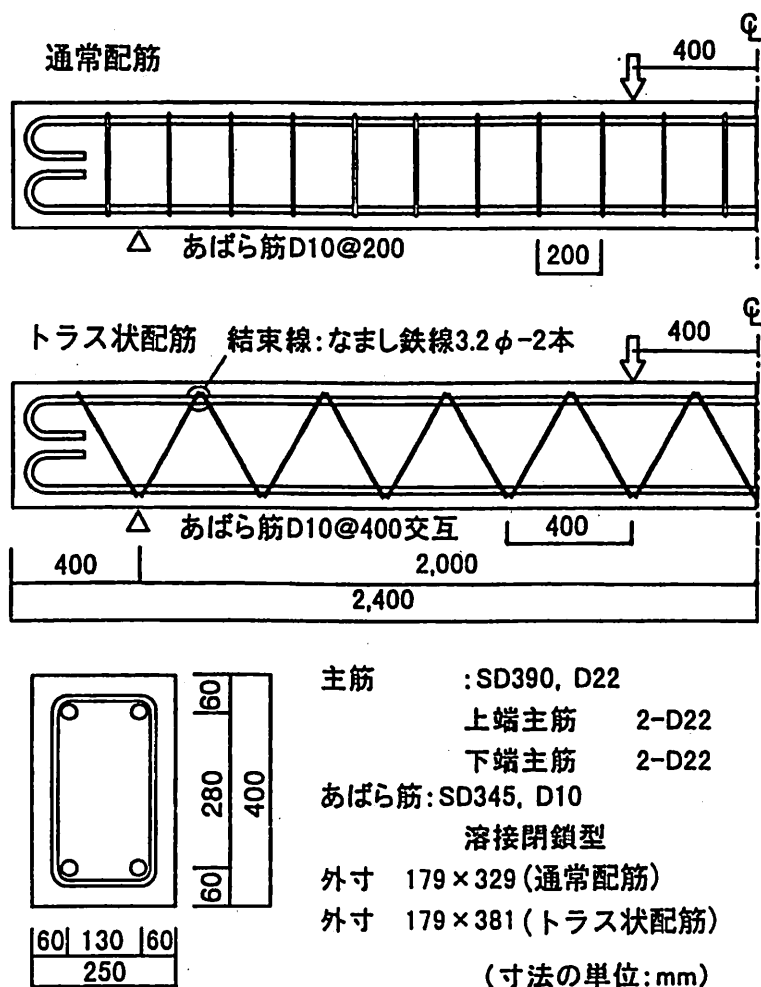


図7 RC梁試験体の形状寸法と配筋

図8は、試験体No.3とNo.4における型枠と鉄筋トラスの取付け部の断面詳細を示す。型枠底板補強用の鋼管の下側に設けた下端押え金具と上端主筋の上側に設けた上端押え金具の間を2本の吊りセパレーターで繋ぐことにより、型枠を鉄筋トラスに取付けた。取付け位置は、前出の図4に示すように6箇所とした。また、鉄筋トラスは、上端主筋の下側に支持金具を設け、長尺ボルトにより鉄骨フレームに吊り下げた。

(2) 測定方法

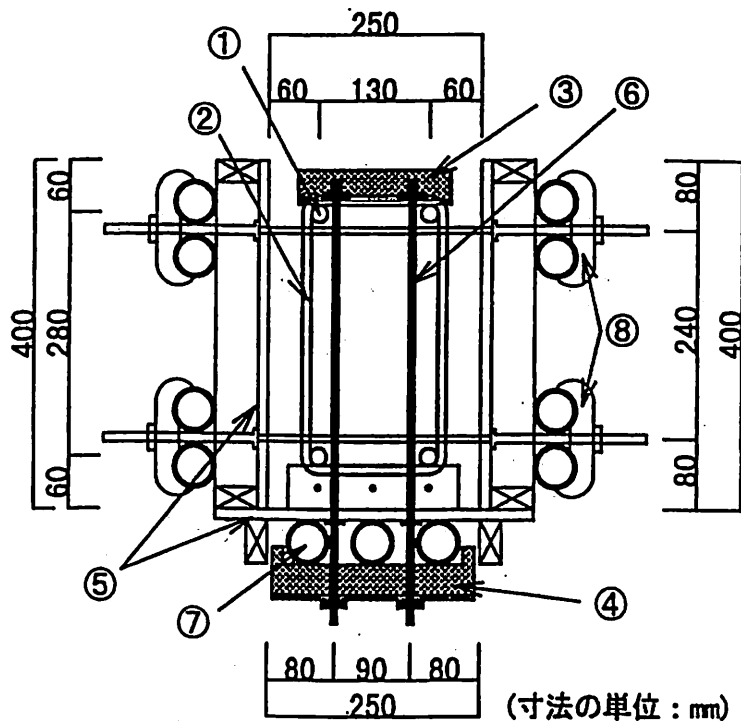
型枠を取付けた鉄筋トラスを2点吊りした状態でコンクリートを打設する試験体No.3とNo.4について、コンクリート打設および打設後6日目までの鉄筋の歪と型枠底板の鉛直変位の変化を計測した。また、型枠下にサポートを配した試験体No.2については、鉄筋の歪

のみ計測した。歪と変位の測定には、それぞれ歪ゲージと変位計を使用した。

3. 2 試験結果および検討

(1) コンクリート打設時の鉄筋の歪

型枠を取付けた鉄筋トラスを2点吊りした状態で、コンクリートを打設した試験体No.3について、コンクリート打設時および打設後6日目までの主筋およびあばら筋のひずみの経時変化をそれぞれ図9および図10に示す。図より、いずれの鉄筋もコンクリートの打設量に比例して歪は増加しており、打設完了直後には、スパン中央の上端主筋で -40μ 、下端主筋で 40μ 、また吊り位置近傍のあばら筋には圧縮材で -35μ 、引張材で 70μ となった。このことより主筋とあばら筋は力学的にトラスを形成し、コンクリート打設による荷重



- ① 主筋 4-D22
- ② あばら筋 D10@200(梁せい中央)
- ③ 上端押さえ金具 (溝型鋼75×40×5×7 L=180)
- ④ 下端押さえ金具 (溝型鋼75×40×5×7 L=250)
- ⑤ 合板型枠 $t=12$
- ⑥ 吊りセパレーター $\phi 7 @850$
- ⑦ 鋼管 3- $\phi 48.6$
- ⑧ フォームタイ

図8 鉄筋トラスと型枠の取付け部の断面詳細

を吊り位置まで伝達していることが分かる。

次に、前出の鉄筋トラス自体の重錘載荷試験の測定結果より、コンクリート打設時の総荷重 (1480kgf) に相当する鉄筋の歪値を求めると吊り位置近傍のあばら筋では圧縮材で -160μ 、引張材で 122μ となる。上述のコンクリート打設直後の歪の測定結果は、これに比べるとかなり小さい。すなわち打設されたコンクリートが鉄筋の歪を抑える働きしており、鉄筋、型枠およびコンクリートの3者が合成効果を持つことが分かる。図11は、型枠下にサポートを配しコンクリート

を打設した試験体No.2のあばら筋の歪の経時変化を示す。打設終了後、歪はしばらく一定値を保つが、1時間後引張側に増加し始め、4時間後ピークに達し、その後は逆に圧縮側に移行した。前者はコンクリートの水加熱による熱膨張のため、後者はコンクリートの乾燥収縮によると考える。試験体No.3 (図10参照) おいても同様な現象が観察された。

(2) コンクリート打設時の型枠のたわみ

試験体No.3のコンクリート打設時および打設後6日目までの型枠底板の鉛直変位の経時変化を図12示す。

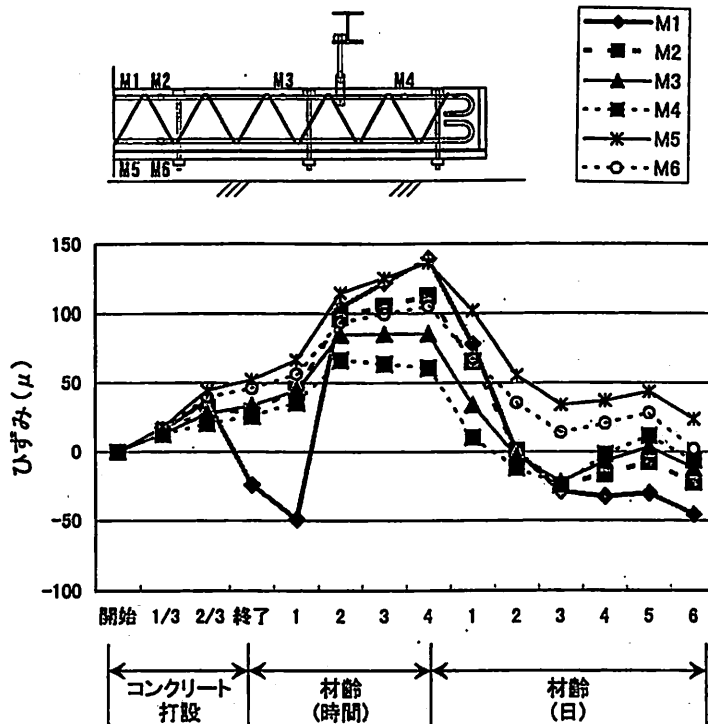


図9 主筋の歪の経時変化(試験体No.3)

変位はコンクリートの打設量に比例して増加するが、打設終了後はほぼ一定となった。最大変位はスパン中央で約4 mm、吊り位置で約3 mmとなり、型枠自体のたわみは約1 mm程度と些少であった。なお、試験体No.4についても、コンクリート打設による鉄筋の歪ならびに型枠の変形状は同様な傾向を示した。

3. 3 まとめ

コンクリート打設時の鉄筋の歪および型枠の変形状を把握するために、型枠を取付けた鉄筋トラスを2点吊りした状態でコンクリート打設試験を行い、以下の知見を得た。

- 1) 主筋とあばら筋が力学的にトラスを形成し、コンクリート打設荷重を両端の吊り位置に伝達する。
- 2) 鉄筋、型枠およびコンクリートの3者が合成効

果を発揮し、鉄筋の歪と型枠のたわみを抑える働きをする。

4 硬化した RC 梁の曲げ試験

トラス状に配筋された RC 梁の曲げ特性を把握するために、硬化した4体の RC 梁試験体について曲げ載荷試験を行った。

4. 1 試験概要

コンクリート打設から4週間以後に、各試験体について曲げ試験を行った。載荷形式は4点曲げで、スパン長は4000mm、中央の載荷点間隔は800mmとし、単調漸増繰返し載荷とした。スパン中央のたわみは変位計により、鉄筋のひずみはひずみゲージにより測定した。試験方法の概要を図13に示す。

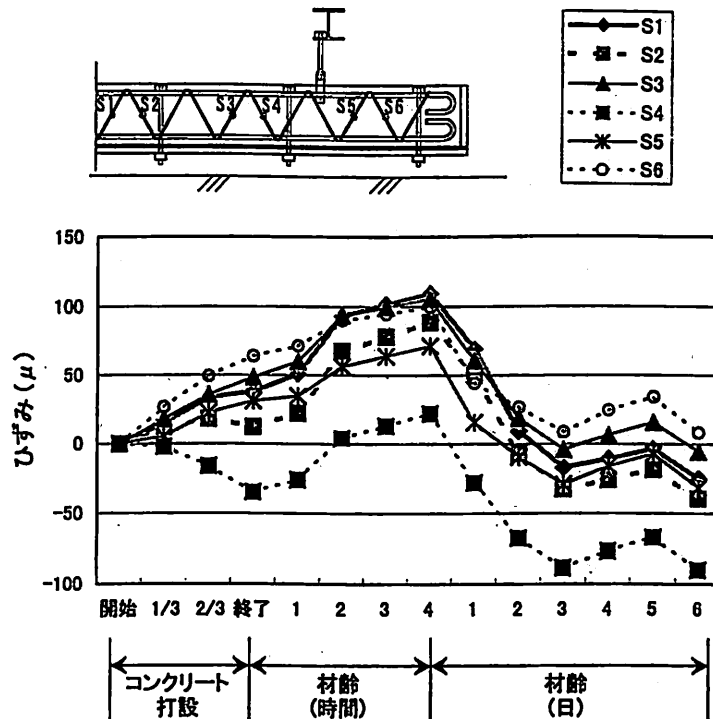


図10 あばら筋の歪の経時変化(試験体No.3)

4. 2 試験結果および検討

(1) 破壊および変位性状

試験体No.1～3は、いずれも荷重40kN付近でスパン中央の引張縁に曲げひび割れが発生し、荷重160kN付近でスパン中央の圧縮縁コンクリートが圧壊し破壊した。試験終了時のひび割れ状況の代表例を図14に示す。打込型枠を用いた試験体No.4では、荷重80kN付近でひび割れが発生する以外は他の試験体と同様な破壊形態を示した。図15に試験終了時のひび割れ状況と剝離診断器により測定した型枠の剝離状況を示す。

各試験体の荷重－スパン中央変位関係を図16に示す。図より各耐力および変形状について、各試験体間の差異は認められない。このことから、配筋、コンクリート打設方法および型枠の違いは、梁の曲げ性状に

ほとんど影響しないことが分かる。

(2) 鉄筋のひずみ性状

試験体は、すべて同程度の荷重で曲げ破壊したため、主筋のひずみ性状の差異は認められなかった。図17に各試験体の純曲げ区間内のあばら筋の荷重－ひずみ関係を示す。純曲げの状態下にあるためひずみ値は小さいが、トラス状に配筋した試験体のあばら筋のひずみが通常的方式で配筋した場合(試験体No.1)に比べて大きくなっている。このことより、トラス状に配筋した場合、あばら筋が曲げひび割れの拡大を抑える役割をすると考える。

4. 3 まとめ

硬化した4体のRC試験体について曲げ載荷試験を行い、トラス状に配筋されたRC梁は通常的方式

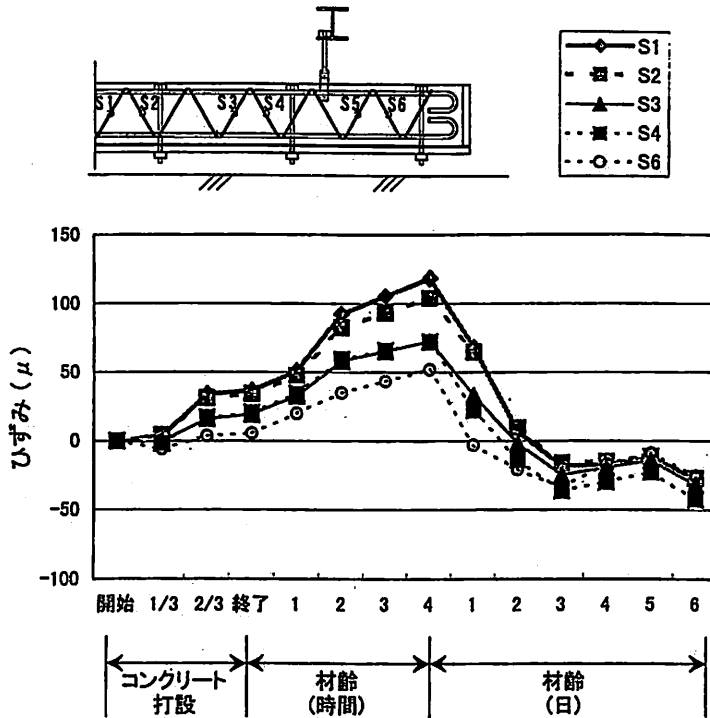


図11 あばら筋の歪の経時変化（試験体№2、サポート有り）

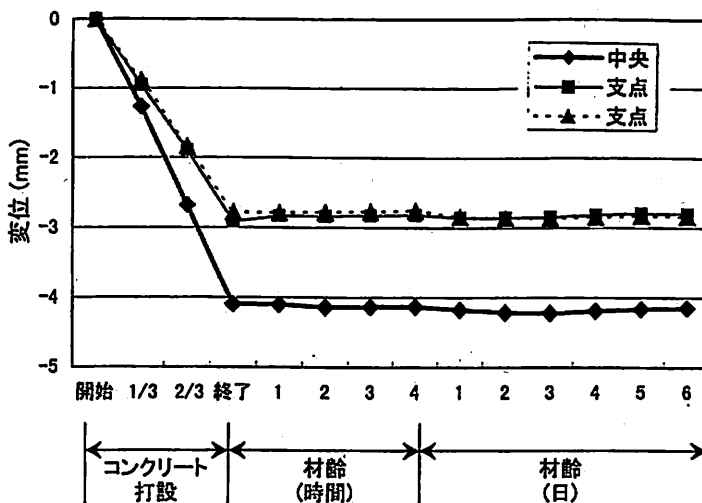


図12 型枠の鉛直変位の経時変化（試験体№3）

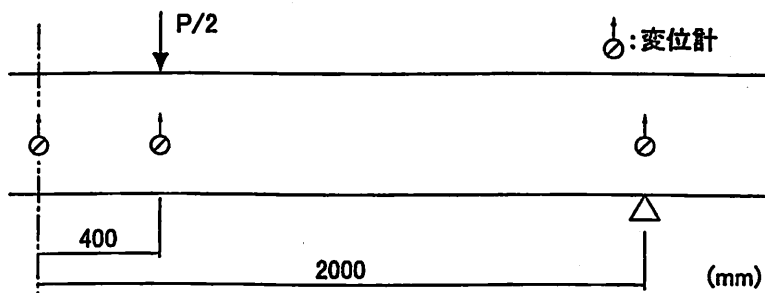
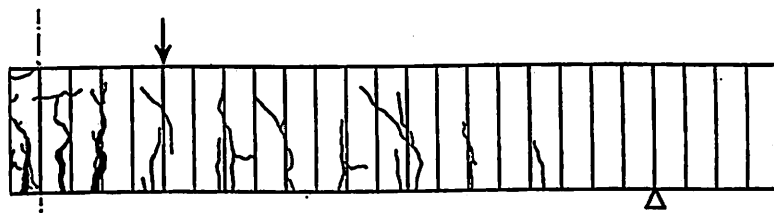


図13 RC梁試験体の試験方法



1) 試験体No.1 (通常配筋)



2) 試験体No.3 (トラス状配筋)

図14 試験終了時のひび割れ状況 (試験体No. 1, No. 3)

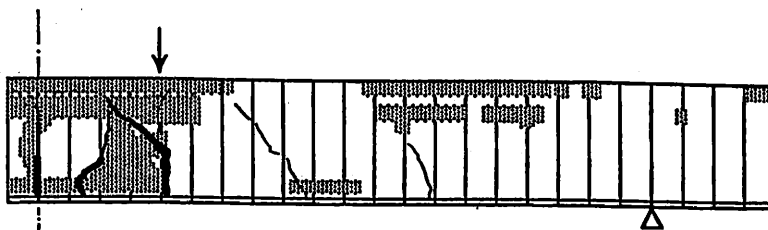
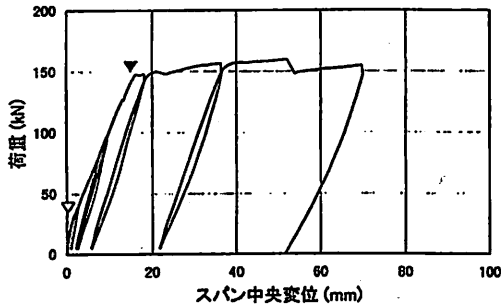
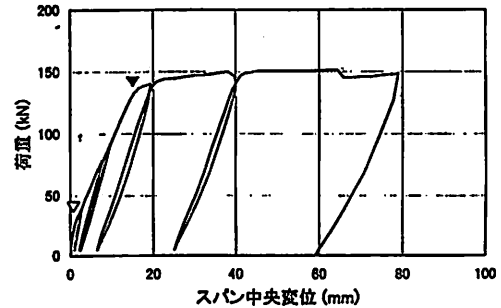


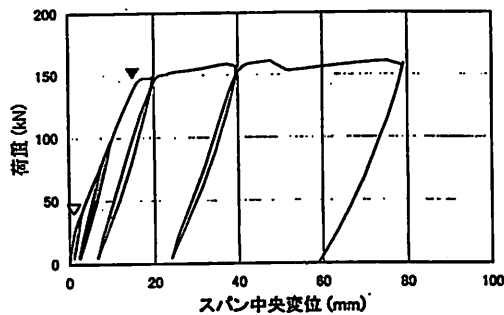
図15 試験終了時のひび割れ状況と打込み枠の剝離状況 (試験体No. 4)



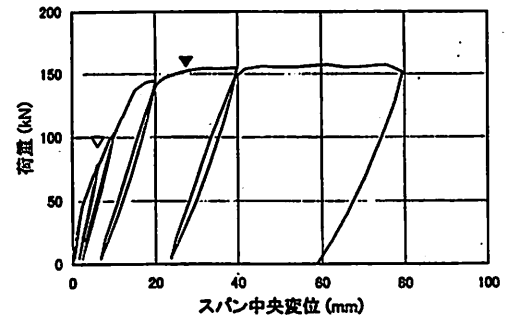
1) 試験体No.1（通常配筋）



2) 試験体No.2（トラス状配筋、サポート有）



3) 試験体No.3（トラス状配筋、2点吊り）



4) 試験体No.4（トラス状配筋、2点吊り、打入型枠）

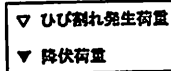


図16 荷重－スパン中央変位関係

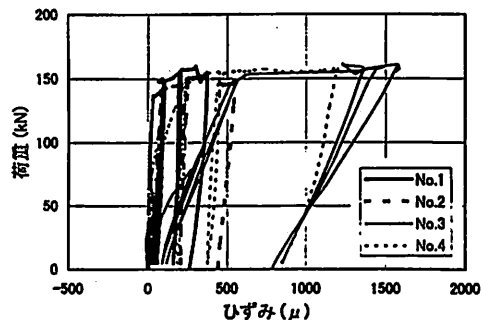


図17 純曲げ区間内のあばら筋の荷重－歪関係

で配筋された RC 梁と同等な曲げ特性を有することを確認した。

4 全体のまとめ

主筋とあばら筋がトラス状に配筋された RC 梁について、鉄筋トラス自体の力学的性状、コンクリートの打設時の鉄筋の歪と型枠の変形状態ならびに硬化した RC 梁の曲げ特性について実験的検討を行うとともに通常的方式で配筋された RC 梁との比較を行い、以下の知見を得た。

1) 型枠を取付けた鉄筋トラスの両端を2点吊りした状態で、コンクリートを打設した場合、主筋とあばら筋が力学的にトラスを形成し、コンクリート打設荷重を両端部の吊り位置に伝達していることを確認した。

2) トラス状に配筋された RC 梁は、鉄筋がコンクリート打設時の施工荷重を受けた状態で硬化しても、

通常の RC 梁と同等な曲げ特性を有することを確認した。また、打込型枠を使用した場合も同様な結果が得られた。

本研究に協力頂いた甲斐定夫技官ならびに関係各位へ感謝の意を表します。

参考文献：

1) 森本敏幸 他：トラス状に配筋された鉄筋コンクリート梁に関する研究（その 1 配筋方法および曲げせん断実験）、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、C-2、pp.291-292 (1997)。

2) 山崎裕一 他：トラス状に配筋された鉄筋コンクリート梁に関する研究（その 2 実大施工実験）、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、C-2、pp.293-294 (1997)。