

論文 トラス状に配筋された RC 梁の正負交番繰り返し曲げ実験

森本 敏幸*¹・山崎 裕一*²・三井 宜之*³・村上 聖*⁴

要旨：主筋とあばら筋がトラス状に配筋されたRC梁が、通常の配筋のRC梁と比較して、曲げ性状にどのような違いがあるかを確認するために、250×400×4800mmの梁試験体5体について正負交番繰り返し曲げ実験を行った。この結果、トラス状に配筋されたRC梁は、通常のRC梁と同等の曲げ耐力および変形性能を有していることが明らかになった。

キーワード：RC梁、トラス状鉄筋、梁試験体、曲げ性状、曲げ耐力、変形性能

1. はじめに

RC梁のあばら筋をラチス状に配筋することにより、主筋を上下弦材、あばら筋を斜材とする曲げ剛性に優れたトラス状の鉄筋ユニットが形成される。このトラス状の鉄筋ユニットでコンクリート打設時の型枠重量、コンクリート重量、作業荷重などの施工荷重を支えることができれば、地上で梁型枠を鉄筋に取り付け、所定の位置に吊り込み、コンクリートを打設することが可能となる。

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り、広い作業空間が確保され施工性の向上が図れる。筆者らは既に、梁の主筋とあばら筋を簡単にトラス状に組み立てる方法を提案し、このような鉄筋を有するRC梁の曲げせん断実験および実大施工実験を行い、その実施工への適用の可能性を確かめている。^{1),2)}

本研究は、トラス状に配筋され、鉄筋自体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たRC梁の曲げ性状に着目し、通常の配筋のRC梁と比較して、曲げ耐力、変形性能等にどのような違いがあるかを、正負交番繰り返し曲げ実験を実施し検討したものである。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体一覧を表-1に、各試験体のコンクリート打設方法を図-1に示す。試験体名のRC、およびTRCは配筋方法の違いを表し、それぞれ通常の方法で配筋されたもの、およびトラス状に配筋されたものを示している。-以降の0、1および2は図-1に示すようにコンクリート打設方法の違いを表し、0は鉄筋に打設荷重が作用しないよう型枠を床に直置きし打設したものを示し、1および2は型枠を鉄筋に取り付け、鉄筋を2点吊りして打設し、打設後3週間この状態で養生したもので、鉄筋には型枠およびコンクリートの重量分の荷重が作用している。なお、1と2は吊り位置間の距離が異なっている。また、TRC-0'はTRC-0とコンクリート強度が異なるだけで、他は全く同じものである。

表-1 試験体一覧表

試験体名	配筋	コンクリート打設方法
RC-0	通常配筋	床置き打設
TRC-0	トラス状配筋	床置き打設
TRC-0'		
TRC-1	トラス状配筋	2点吊り打設 (吊り位置間距離 2,960mm)
TRC-2	トラス状配筋	2点吊り打設 (吊り位置間距離 4,000mm)

*1 (株) 錢高組技術研究所 主席研究員 工修(正会員)

*2 (株) 錢高組技術研究所 主任研究員(正会員)

*3 熊本大学教授 工学部環境システム工学科 工博(正会員)

*4 熊本大学助教授 工学部環境システム工学科 工博(正会員)

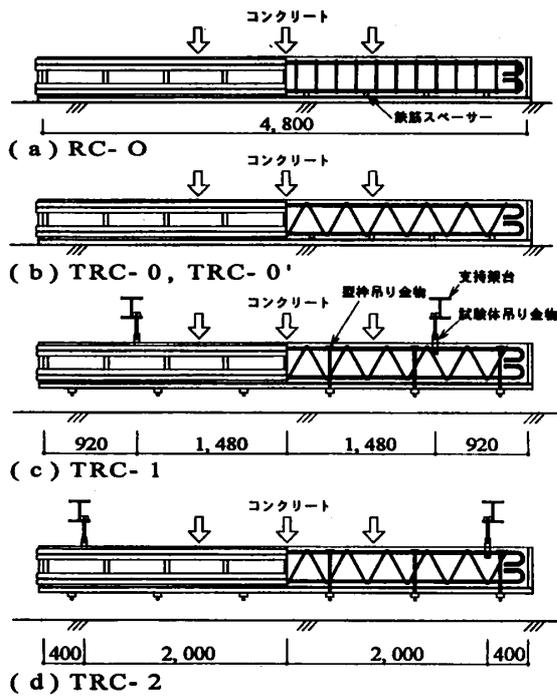


図-1 コンクリート打設方法の違い

試験体を使用した鉄筋およびコンクリートの素材試験結果をそれぞれ表-2および表-3に、試験体の形状および配筋を図-2に示す。全試験体とも外形寸法は幅250mm×せい400mm×長さ4800mmで、主筋は上端・下端ともD22を2本配した。あばら筋はD10の溶接閉鎖型鉄筋を使用し、RC試験体は200mm間隔に配し、TRC試験体は梁せいの中央で間隔が200mmになるようラチス状に配した。また、トラスの節点となる主筋とあばら筋の交点の結束にはφ3.2mmのなまし鉄線を2本用い、シノで締め付けた。

表-2 鉄筋の素材試験結果

鉄筋種類	降伏強度 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	破断伸び %	ヤング係数 N/mm ²
D22 (SD390)	457	656	19.1	1.92×10 ⁴
D10 (SD345)	385	552	22.8	1.86×10 ⁴

表-3 コンクリートの素材試験結果

試験体名	圧縮強度 N/mm ²	割裂引張強度 N/mm ²	ヤング係数 N/mm ²
RC-0	30.3	2.37	2.24×10 ⁴
TRC-0	32.3	2.67	2.43×10 ⁴
TRC-0'	30.3	2.37	2.24×10 ⁴
TRC-1	32.3	2.67	2.43×10 ⁴
TRC-2	30.3	2.37	2.24×10 ⁴

(呼び強度：24N/mm²，目標強度：30N/mm²)

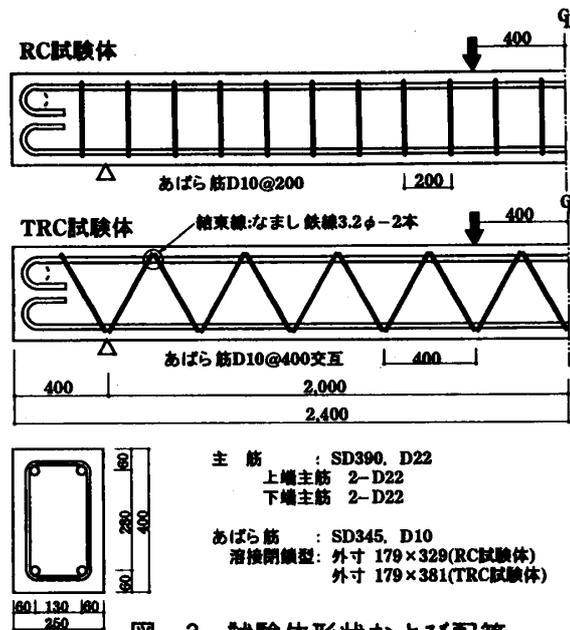


図-2 試験体形状および配筋

2.2 コンクリート打設以降の鉄筋のひずみ

鉄筋ユニットを吊り間距離4000mmで2点吊りしてコンクリートを打設したTRC-2試験体について、コンクリートが梁せいの1/4, 2/4, 3/4, および天端までそれぞれ打設された時点、および打設後13日目までの、主筋(上端および下端)、およびあばら筋(引張材および圧縮材)のひずみの経時変化を、それぞれ図-3および図-4に示す。いずれの鉄筋もコンクリート打設量にほぼ比例して、ひずみが増加している。

打設完了直後には、スパン中央の主筋には上端で-22μ、下端で32μのひずみが、同様に吊り位置近傍のあばら筋には圧縮材、引張材それぞれ-70μ、105μのひずみが生じていた。

このことより、主筋とあばら筋が力学的にトラスを形成し、コンクリート打設による荷重を両端部の吊り位置に伝達していることが確認された。また、打設直後から13日目の間に主筋(上端)、あばら筋(引張材および圧縮材)は、ひずみが圧縮側に50μ程度変化している。これは、コンクリートの自己収縮によるものと考えられるが、主筋(下端)にはこの傾向は見られない。

また、打設完了直後の吊り位置の上端主筋のひずみから求めた曲げ応力度は66N/mm²程度であり、局所的な曲げ変形も観られなかった。

なお、打設時に上端鉄筋および型枠底板の鉛直変位を測定したが、打設完了直後のたわみはスパン中央で4.2mmであった。この値は吊り位置間距離4000mmに対して1/1000程度であり、構造上特に問題にはならないと考えられる。

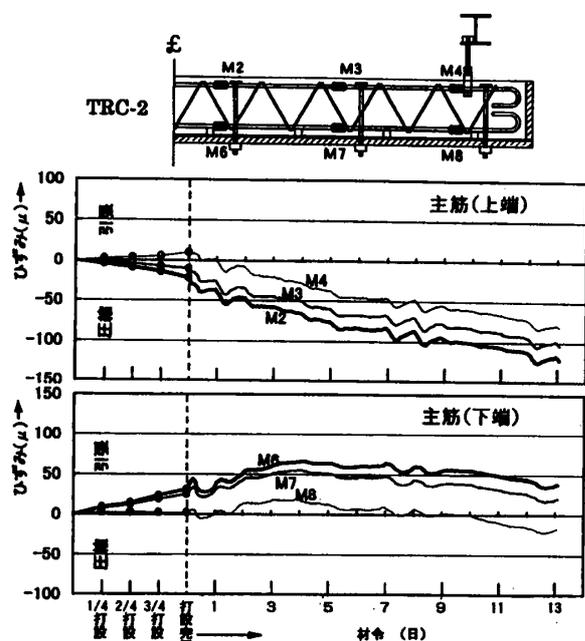


図-3 主筋ひずみの経時変化

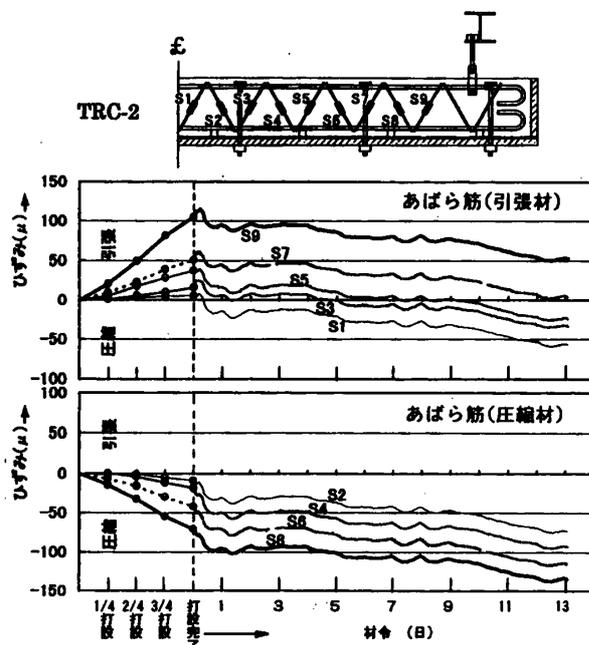


図-4 あばら筋ひずみの経時変化

2.3 加力および測定方法

コンクリート打設から32~40日後に、各試験体の曲げ試験を実施した。加力装置図を図-5

に示す。加力形式は4点曲げで、スパン長さは4000mm、中央の載荷点間隔は800mmとし、正負交番繰り返し加力とした。載荷は連動油圧ポンプを介して正負それぞれ2台の油圧ジャッキで行った。なお、左右両支点の上下のかまぼこ形球座の回転中心は試験体のせいど中心に一致させ、正負両加力で試験体の回転中心が同じになるようにした。

試験体中央のたわみ(δ)は、左右両支点で試験体に固定したゲージホルダーに取り付けた変位計により、試験体の両側面で測定した。また、ひずみゲージにより主筋およびあばら筋のひずみを測定した。載荷履歴を図-6に示す。第1サイクル目は、荷重(P: 載荷点1点当たりの荷重)が±20kNになるまで加力し、第2サイクル以降は変位制御で加力を行った。

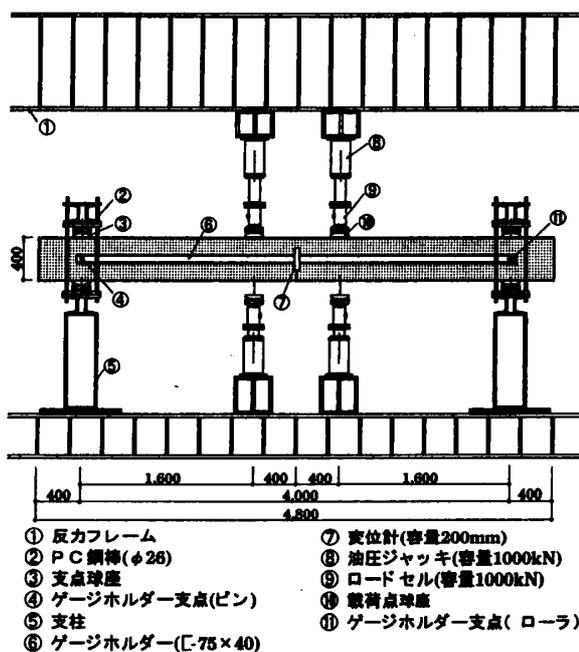


図-5 加力装置図

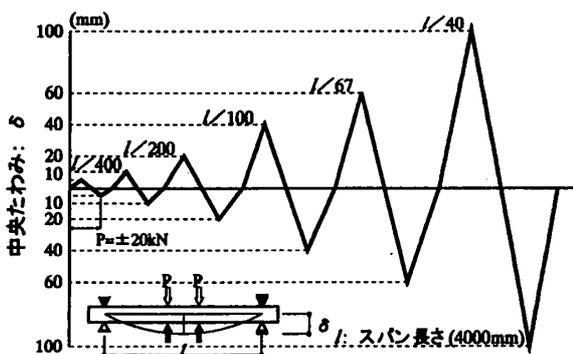


図-6 載荷履歴図

3. 実験結果および検討

3.1 実験経過および履歴性状

各試験体の最終ひびわれ状況を図-7に、同じく荷重(P)とたわみ(δ)の関係を図-8に示す。各試験体とも $P = \pm 11 \sim 14 \text{ kN}$ 付近でスパン中央の純曲げ区間に曲げ初ひびわれが発生し、第1サイクル目の最大荷重 $P = \pm 20 \text{ kN}$ では純曲げ区間に数本の曲げひびわれが発生した。第2サイクル目の $\delta = \pm l/400$ では曲げひびわれがせん断スパン内にも数本発生し、第3サイクル目の $\delta = \pm l/200$ に至る直前でスパン中央の引張側主筋が降伏したが、この時の荷重およびたわみは全試験体ともほぼ同じであった。その後、第4サイクル目の $\delta = \pm l/100$ 付近で引張側主筋に沿った付着割裂ひびわれが生じ、最終サイクルで載荷点近傍の圧縮側コンクリートの圧壊が一部見られたが、 $\delta = \pm l/40$ に至るまで耐力低下は起こさず、靱性に富んだ曲げ破壊性状を示した。

これらの図のように、各試験体のひびわれ状況、破壊性状および履歴性状は極めてよく似ており、配筋方法の違いおよびコンクリート打設方法の違いによる明瞭な差は認められなかった。

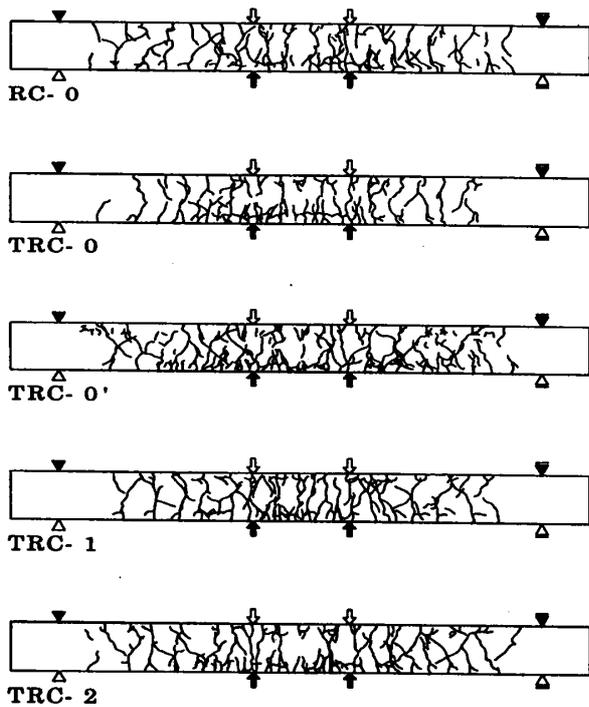
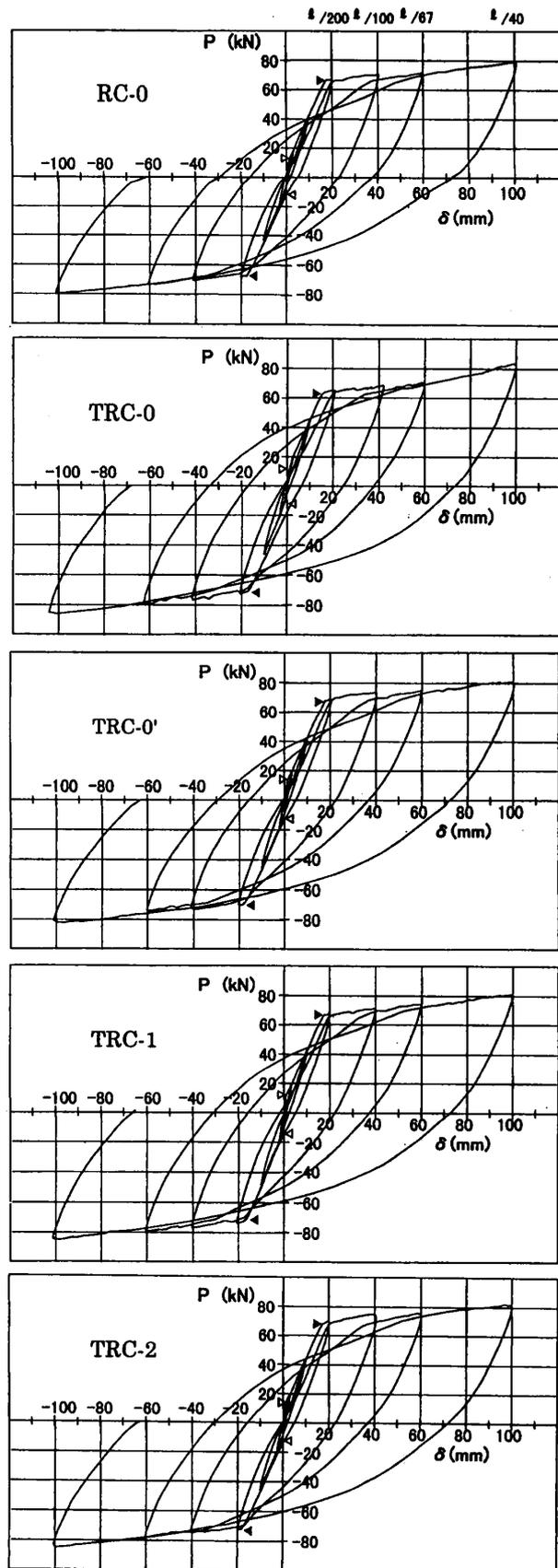


図-7 最終ひびわれ状況



<凡例>

▷: 曲げひびわれ発生
 ▲: 引張側鉄筋降伏



図-8 荷重(P)-たわみ(δ)関係

3.2 主筋のひずみ

RC-0, TRC-0'およびTRC-2の3試験体についての荷重(P)とスパン中央断面における主筋ひずみ(ϵ)の関係を図-9に示す。なお、実験結果は第4サイクルまでを表示している。また、同図中に平面保持を仮定した梅村のe関数法³⁾による断面解析結果を破線で示している。

この図より、3つの試験体とも曲げひびわれ発生以後の実験結果はe関数法による計算値とよく一致しており、図に示さなかった他の2つの試験体も含めて試験体間に顕著な差は見られなかった。このことより、トラス状に配筋されたRC梁の曲げ抵抗機構は通常の配筋のRC梁と変わらないと言える。

3.3 あばら筋のひずみ

RC-0, TRC-0'およびTRC-2の3試験体について、荷重(P)と純曲げ区間内のあばら筋のひずみ(ϵ_s)の関係を図-10に示す。

純曲げ状態にあるため、この区間に配置されたあばら筋のひずみ量はいずれも小さいが、主筋降伏(P=70kN)以降、通常配筋のRC-0に比べてTRC-0'およびTRC-2は、ひずみ量が大きくなっている。これは、トラス状配筋の場合、鉛直方向に伸びた曲げひびわれが、斜めに配置されたあばら筋と交差するため、このことからトラス状配筋の場合、あばら筋が曲げひびわれの拡大を抑える役割をすると考えられる。

3.4 各種耐力

各試験体の曲げひびわれ荷重、主筋降伏時荷重、および曲げ終局時荷重について、実験結果と計算値の比較を表-4に示す。

曲げひびわれ発生荷重は、各試験体とも計算値よりやや小さく、試験体間に明確な差は見られない。

主筋降伏時荷重は、各試験体ともe関数法による計算値とよく一致しており、試験体間に明

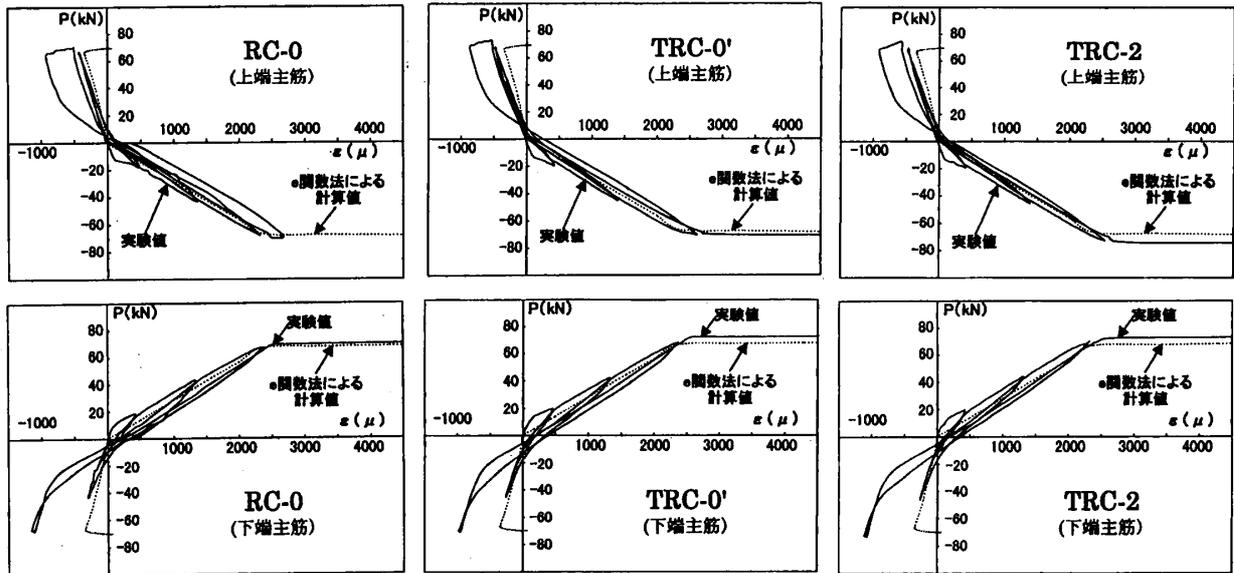


図-9 荷重(P)–スパン中央主筋ひずみ(ϵ)関係

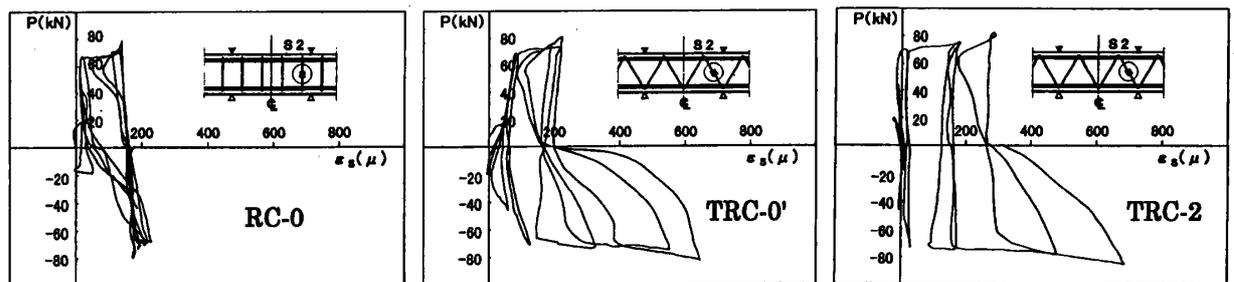


図-10 荷重(P)–純曲げ区間あばら筋ひずみ(ϵ_s)関係

表-4 各種耐力の実験結果と計算値の比較

試験体記号	曲げひびわれ時荷重 P _{bc}		主筋降伏時荷重 P _y			曲げ終局時荷重 P _u					
	実験値 (kN)	(1) 計算値 (kN)	実験値 — 計算値	実験値 (kN)	(2) 計算値 (kN)	実験値 — 計算値	(3) 実験値 (kN)	(4) 計算値 (kN)	実験値 — 計算値	(5) 計算値 (kN)	実験値 — 計算値
RC-0	+13.9	±15.2	0.91	+67.0	±66.9	1.00	+79.1	±67.8	1.17	±69.9	1.13
	-12.6		0.83	-67.3		1.01	-79.3		1.17		1.13
TRC-0	+12.4	±15.4	0.81	+63.1	±67.0	0.94	+83.5	±67.8	1.23	±70.3	1.19
	-12.1		0.79	-70.9		1.06	-86.5		1.28		1.23
TRC-0'	+14.2	±15.2	0.93	+68.0	±66.9	1.02	+81.1	±67.8	1.20	±69.9	1.16
	-12.3		0.81	-70.0		1.05	-82.4		1.22		1.18
TRC-1	+12.1	±15.4	0.79	+67.2	±67.0	1.00	+81.1	±67.8	1.20	±70.3	1.15
	-13.7		0.89	-70.8		1.06	-85.0		1.25		1.21
TRC-2	+14.2	±15.2	0.93	+68.5	±66.9	1.02	+82.4	±67.8	1.22	±69.9	1.18
	-11.4		0.75	-72.6		1.09	-85.3		1.26		1.22

(1) $M_{bc} = 1.8 \sqrt{\sigma_a} \cdot Z_e$ より算定。ここに、 σ_a : コンクリート圧縮強度を単位(kgf/cm²)で表わしたもの。

(2) e 関数法による引張側主筋降伏時のモーメントより算定。

(3) 実験における最大荷重。

(4) $M_u = 0.9 a_s \cdot \sigma_y \cdot d$ より算定。

(5) e 関数法による圧縮縁コンクリートひずみが0.3%の時のモーメントより算定。

確な差は見られない。

曲げ終局時荷重の実験値は、RC-0に比べて他のTRC試験体は若干大きくなっている。また、全試験体について、実験値は計算値より約10~30%大きい。これは実験値は最終サイクルの $\delta = \pm 1/40$ 近傍での荷重であり、この時には主筋がひずみ硬化を起こしているのに対し、計算値には主筋のひずみ硬化を考慮していないためと考えられる。

4. まとめ

主筋とあばら筋がトラス状に配筋されたRC梁と、通常の配筋のRC梁についての、コンクリート打設時の鉄筋ひずみの測定結果および、正負交番繰り返し曲げ実験結果より、以下の知見を得た。

(1) トラス状に配筋した鉄筋ユニットの両端部を2点吊りしてコンクリートを打設した場合の主筋およびあばら筋のひずみから、主筋が力学的にトラスの上下弦材として曲げを、あばら筋が同じく斜材としてせん断力を負担し、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が確認された。

(2) 配筋方法およびコンクリート打設方法が異

なる5つの試験体間に、ひびわれ状況、破壊性状、履歴特性、各種耐力に明確な差は見られず、トラス状に配筋した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梁と同等の曲げ性状を有することが確認され、曲げに対する弾塑性性状および各種耐力は、通常のRC梁で用いられている計算法で推定できる。

参考文献

- 1) 森本敏幸, 山崎裕一, 磯健一, 永尾眞: 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, 森本敏幸, 磯健一, 永尾眞: 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
- 3) 武藤清: 耐震設計シリーズ2, 鉄筋コンクリート構造物の塑性設計, 丸善株式会社, 1976
- 4) 磯健一, 中沢春生, 森本敏幸, 馬場明生, 福山洋, 緒方昌博: 自動化適合型鉄筋コンクリート構法の開発(62)型枠・鉄筋構工法の開発(その23)トラス鉄筋による施工荷重伝達の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)A, pp.999-1000, 1994