

床版に用いる付着型 T 形鋼ずれ止めの靱性と終局耐力

Shearing Properties of Bond Increased T-Shape Shear Connector

高海克彦*, 石井暢治**, 山本大祐***, 濱田純夫****

Katsuhiko Takami, Nobuharu isii, Daisuke Yamamoto and Sumio Hamada

- * 工博 山口大学助教授, 工学部社会建設工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)
- ** 工修 (株) ピーエス三菱
- *** 山口大学大学院 理工学研究科 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)
- **** Ph.D 山口大学教授 工学部社会建設工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

This paper discussed the mechanical properties of a new type of bonded T shaped shear connector which is a T-shape beam longitudinally welded on the top flange of the main girder. The use of this bonded shear connector would reduce works in site. Static and cyclic shear loading tests were carried out on the bonded shear connector. As a part of tests, the tensile force perpendicular to the shear direction was loaded besides the shear force. The shear strength of the bonded connector decreases about 10 %, subjecting to the tensile force. The obtained mechanical results from the cyclic test are almost same characteristics with those of the static tests.

Key Words : bonded T shaped shear connector, tensile force, shear strength

1. はじめに

近年、土木構造物において鋼・コンクリート複合構造が多用されるようになった。この構造は、剛性の向上や重量の軽減など多くの利点があるが、複合効果を十分に発揮させるためには、それらの境界面のずれおよび剥離を拘束する治具を設けなければならない。橋梁床版において、頭付きスタッドジベル(以下スタッド)がずれ止めとして一般に使用されているが、近年の床版支間の拡大化や新構造形式の採用に伴い、ずれ止めに作用するせん断力以外に軸引張力も考慮しなければならないと思われる。

そこで本研究では、せん断に対しては付着作用で、引張に対しては型鋼で抵抗する、T 形鋼板ジベルに着目した。T 形鋼板ジベルは、H 形鋼を鋼桁ウェブ上に溶接し、床版中に埋込まれた T 形鋼とコンクリートの付着を基本にしたずれ止めである。突起付き T 型鋼をずれ止めとする研究は以前にも文献 1), 2) 等があるが、付着作用を基本としたずれ止めの研究は、本研究のほかにも、文献 3) が見られる程度で、著者の知る限り少ない。この形式は、スタッドに比べる

と軸引張力が働いた場合の組合せ力にも強く、また施工の省力化などが期待できる。しかしながら実構造物として適用できるほど十分な実験データは得られていない。そこで本研究では T 形鋼板ジベルに対して引張り力を同時に受ける場合の静的押抜きせん断試験および漸増繰り返しせん断試験を行った。両

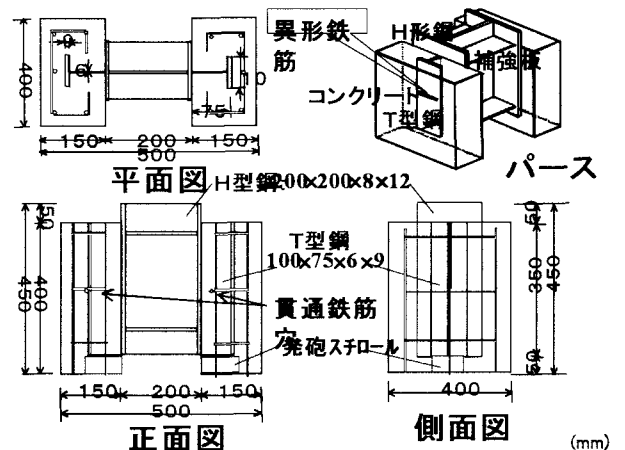


図-1 実験試験体詳細図

試験における、耐荷力とずれ特性に関して各々の場合の力学特性を考察した。

2. 単調載荷試験

2.1 実験供試体

実験供試体の形状を図-1 に示す。コンクリート部は鋼桁部の H 形鋼フランジ面に両面打設を行い、呼称寸法 W150×D400×H400mm とした。H 形鋼は呼称寸法 200×200×8×12mm、公称断面積 62.08cm²、T 形鋼板ジベルは呼称寸法 100×75×6×9、公称断面積 13.5 cm² の鋼材を使用した。実験供試体において、鋼桁部は H 形鋼のフランジ上面に H 形鋼を切断加工した T 形鋼をすみ肉溶接したものを使用した(図-1 参照)。供試体の種類は表-1 に示すように、コンクリートと T 形鋼板ジベルの自然付着のみで合成した供試体、および T 形鋼板ジベルのフランジ部に長さ 10cm の D10 異形鉄筋を溶接した供試体を 4 種類用意し、付着作用のみ、突起による効果、および異形鉄筋の間隔による違いを比較することにした。軸引張力を与えない供試体(CN シリーズ)、軸引張力を与えた供試体(CT シリーズ)を合わせて計 10 体作製した。また、T 形鋼板ジベルは付着のみを基本とし、準脆性的なずれ特性が予測されるため、靱性を確保すべく、T 形鋼板ジベルのウェブ中心に貫通鉄筋を有する供試体も用意した。ここで各供試体の名称について、軸引張力を与えるものには T を、与えないものには N とし、ハイフンの後の数字は異形鉄筋の本数を示す。なお、靱性を付与するため考慮した貫通鉄筋を有するものは J を付けた。

2.2 載荷概要

載荷は、図-1 の正面図における H 形鋼の突出部に

表-1 単調載荷試験供試体一覧

供試体名	異形鉄筋		貫通鉄筋 本数 (本)	軸引張力 の導入量 (kN)	コンクリート	
	本数 (本)	間隔 (cm)			圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
CN-0	0	-	0	0	40.6	37533
CN-1	1	20	0	0	48.4	43037
CN-3	3	15	0	0	46.5	46479
CN-4	4	10	0	0	46.5	46479
CN-8	8	5	0	0	46.5	46479
CT-0	0	-	0	63.7	48.9	45658
CT-1	1	20	0	63.7	48.4	43037
CT-3	3	15	0	63.7	42.0	42441
CT-4	4	10	0	63.7	42.0	42441
CT-8	8	5	0	63.7	42.0	42441
CN-0J	0	-	1	0	43.6	44997

供試体名 : C N - 0 J
 ↳ 靱性考慮
 ↳ 異形鉄筋本数
 ↳ Non-tension
 ↳ Tension

対して油圧式万能試験機(MAX 300tf)を用いて、付着面にせん断力を導入した。載荷初期においては、コンクリートと T 形鋼板ジベルの付着が切れるまで荷重制御による単調載荷を行い、その後はずれによる変位制御単調載荷とし、コンクリート若しくは T 形鋼板ジベルの溶接部が破断するまで載荷を行った。測定項目は次の 3 項目である。

- (1) コンクリートと H 形鋼接合面のずれ、および荷重
- (2) 最大荷重(付着耐力)
- (3) 破壊状況

2.3 軸引張力の導入方法と導入量

T 形鋼板ジベルに作用させる引張力は、供試体の両コンクリート間に挿入した水平油圧ジャッキでコンクリートブロックを押し開く力の反力を T 形鋼板ジベルに負担させることにより導入した。写真-1 はジャッキを挿入した押抜き試験の状況である。

T 形鋼板ジベルに作用する引抜き力は、それが用いられる構造形によって異なるが、本実験では軸引張力の導入量は以下の手順により決定した。

T 形鋼板ジベルの場合、図-3 のように台形型に引抜かれると仮定すると、引抜きせん断力に対する作用面は、A 面のみと考えられる。A 面の側面積は、T 形鋼板ジベルのウェブ高さ $h_d=65(\text{mm})$ 、T 形鋼板ジベルの長さ $L=350(\text{mm})$ より式(1)から A 面の側面積 $S(\text{mm}^2)$ を求めることができる。

$$S = \sqrt{2}h_d \times l \times 2 \quad (1)$$

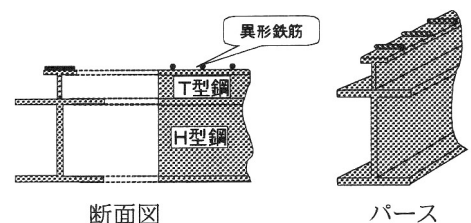


図-2 異形鉄筋および T 形鋼のパス

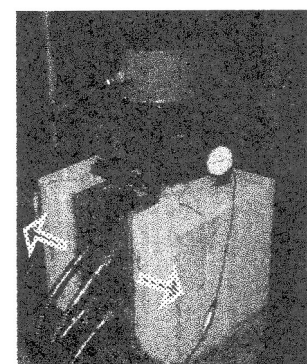


写真-1 静的押抜き試験

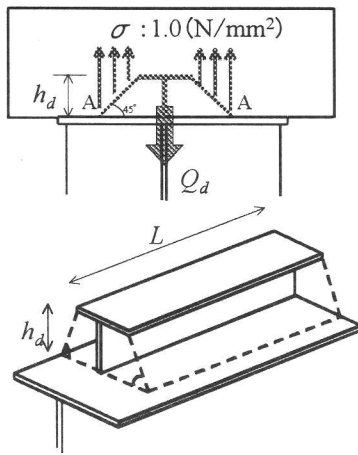


図-3 引抜きせん断力の作用面

以上より、A面の側面積 S は、 $S=63700(\text{mm}^2)$ となる。ここで、コンクリートの引抜き主応力 σ (N/mm^2)を、過去のスタッドに対する研究⁴⁾を参考に単位面積あたり $1.0(\text{N}/\text{mm}^2)$ とし、側面積 $S(\text{mm}^2)$ を乗じることで、軸引張力 $Q_d(\text{kN})$ を仮定した。式(2)より、軸引張力 Q_d は、 $Q_d=63.7(\text{kN})$ を算定した。

$$Q_d = T_d \times S \quad (2)$$

2.4 単調載荷試験結果および考察

2.4.1 破壊状況

図-4にCNシリーズの、図-5にCTシリーズの載荷中に現れた典型的なひび割れを示す。

まず付着のみで合成している供試体(CN-0)、は載荷初期から最大荷重に達するまで、ほとんどひび割れが認められず、最大荷重に達し付着が切れた後はそのままT形鋼板ジベルが抜け落ちる状態だった。また、異形鉄筋を有する複数の供試体には、載荷初期から最大荷重に至るまで、コンクリート上面のT形鋼板ジベルのフランジ部両端より外側に向かって逆八の字にひび割れが徐々に進行していくのが認められた。そのため、異形鉄筋を溶接し突起を設けることは、表面の滑らかな場合に比べ、突起とコンクリートのかみ合わせが大きくなり耐力増加が期待できる。

CTシリーズは、軸引張力によりT形鋼板ジベルのフランジ上面部の付着が切れやすく、破壊時には突起を付けていても約1~2cm程度の隙間が確認された。さらに、最大荷重後はT形鋼板ジベルのフランジ部よりCNシリーズとは逆に内側に約45°にひび割れが発生し、コンクリートが台形状に引抜かれる結果が得られた。

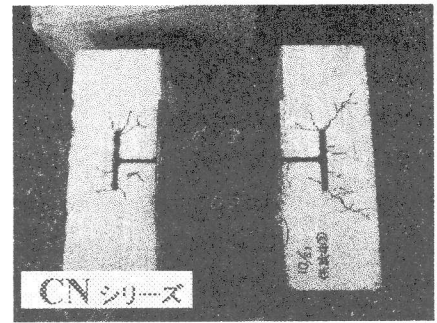


図-4 破壊状況

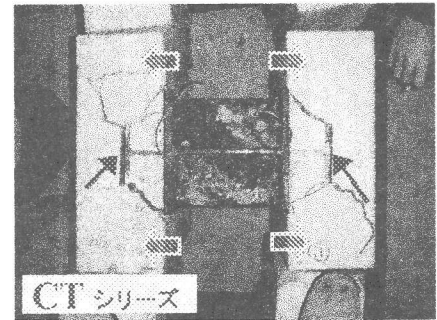


図-5 破壊状況

2.4.2 付着強度

コンクリートの付着強度は次式により算出した。

$$\text{付着強度}(\text{N}/\text{mm}^2) = \frac{\text{最大荷重}(\text{N})}{\text{付着面積}(\text{mm}^2)} \quad (3)$$

式(3)より算出した付着強度を異形鉄筋の本数で整理した結果を図-6示す。図-6より軸引張力を与えない供試体では、異形鉄筋本数の増加に伴い付着強度も比例して増加していることがわかる。また軸引張力を与えたものについてもデータのばらつきがあるが引張力を与えない供試体と同様に比例関係が認められた。

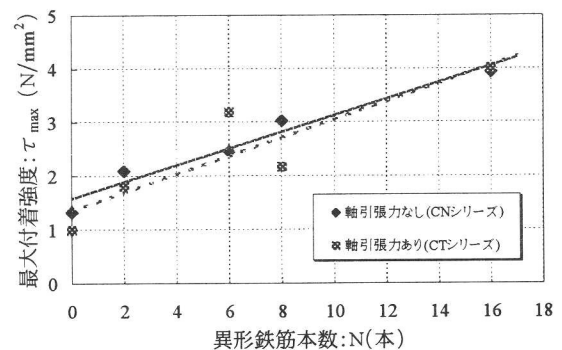


図-6 付着強度と鉄筋本数の関係

2.4.3 異形鉄筋の影響

図-7にCNシリーズの異形鉄筋本数を変化させた場合の荷重-ずれ関係を示す。横軸はコンクリートブ

ロックと H 形鋼の荷重作用方向の相対変位であり、縦軸は T 形鋼板ジベルに作用させた載荷荷重である。CN-0 と CN-1 の荷重-ずれ関係を比較すると、CN-0 では載荷初期から T 形鋼板ジベルとコンクリートの自然付着が切れはじめるまでずれが発生しにくく荷重のみが増加し、その後、一旦ずれが発生すると最大荷重を保持しつつ、ずれが増大していることがわかる。また CN-1 については、載荷初期においては CN-0 と同様にずれがあまり発生しないまま荷重のみが増加し、ずれが発生した後も最大荷重が増加傾向にあることが伺える。さらに、異形鉄筋の本数に応じて最大荷重点が伸びていることから、異形鉄筋が機械的なずれ止めとして作用していることがわかる。

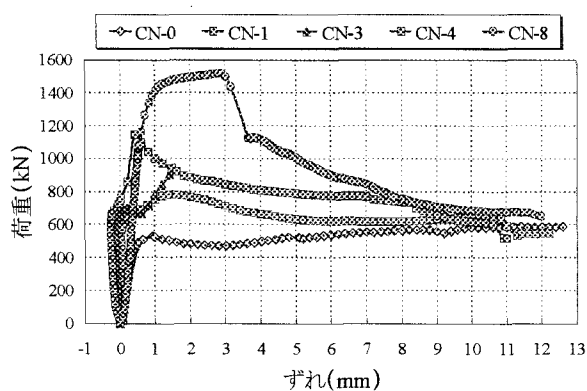


図-7 荷重-ずれ関係（軸引張力なし）

2.4.4 軸引張力の影響

図-8 に軸引張力を与えた CT シリーズの荷重-ずれ関係を示す。図-7 と比較して、軸引張力を与えると載荷初期からずれが生じやすいことがわかる。また、最大荷重点は CN シリーズに比べて約 10~20% 低減することがわかった。著者らによる既往の研究では、通常ずれ止めとして用いられるスタッドは、軸引張力を与えると約 40% 程度のせん断耐力が低下することが指摘している。したがって T 形鋼板ジベルの場合、軸引張力を与えると T 形鋼フランジ部の支圧効果により摩擦力が発生することにより、スタッドに比べせん断耐力の低下を抑制できるものと考えられる。

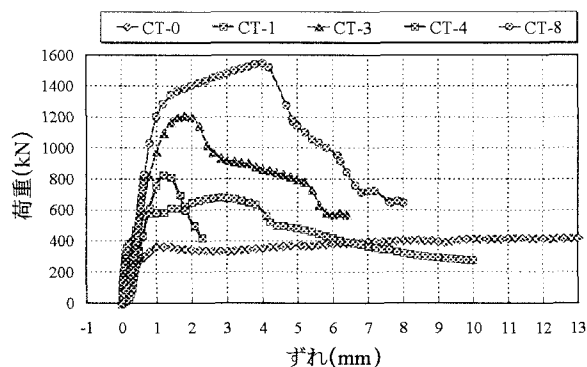


図-8 荷重-ずれ関係（軸引張力あり）

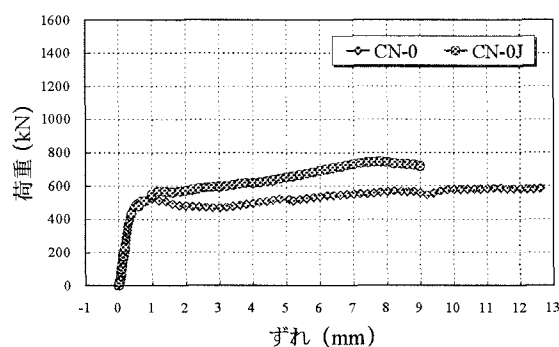


図-9 荷重-ずれ関係（貫通鉄筋の有無）

2.4.5 貫通鉄筋の影響

貫通鉄筋のある場合とない場合の供試体 CN-0 と CN-0J の荷重-ずれ関係を図-9 に示す。載荷初期におけるずれの発生 1mm 時点までは CN-0, CN-0J 共に、ほぼ同じ挙動を示した。しかしながら、それ以降の急激なずれの増加に対し、貫通鉄筋の効果より CN-0J は、CN-0 より耐力が増大し約 1.3~1.6 倍となった。この貫通鉄筋は T 形鋼板ジベルをずれ止めとして用いる場合、コンクリート床版内に通常設置される配筋の一部に相当するものである。CN-0J の耐力の伸びは非常に緩やかであり、最大荷重点到達時の最大ずれ量は約 9~12mm に達した。したがって、異形鉄筋の場合に見られる、最大荷重後の異形鉄筋がコンクリートと T 形鋼板ジベルの界面に乗り上げる現象を防止し、急激な耐力の低下を抑制に効果的であるといえる。

2.4.6 ずれ剛性

表-2 に各供試体の作用せん断力とずれの関係から求めたずれ剛性を示す。ずれ剛性は、最大せん断耐力 Q_{max} の 1/3 荷重点の初期割線係数で算出した。

また比較のため既往の研究より得られた、 $\phi=19(\text{mm})$, $L=100(\text{mm})$ のスタッド2本あたりのせん断耐力およびずれ剛性を併記した。表-2より、CN-8に比較してCT-8のずれ剛性は約4割程度低下していることから、軸引張力の導入によって荷重初期からのずれが影響しているものと考えられる。またCNシリーズと軸引張力を与えていないスタッドを比較し、同様にCTシリーズと軸引張力を与えたスタッドを比較すると、T形鋼板ジベルはスタッドよりずれ剛性が約2倍~4倍大きいことがわかる。

表-2 ずれ剛性

供試体名	最大せん断耐力 Q_{\max} (kN/枚)	1/3荷重点		ずれ剛性 K_{st} (kN/mm)
		$Q_{\max}/3$ (kN)	ずれ (mm)	
CN-0	248.3	82.8	0.02	-
CN-1	392.7	130.9	0.02	-
CN-3	464.1	154.7	0.02	-
CN-4	573.8	191.3	0.03	-
CN-8	757.1	252.4	0.31	814.0
CT-0	186.4	62.1	0.26	239.0
CT-1	339.9	113.3	0.08	-
CT-3	602.7	200.9	0.38	528.7
CT-4	412.6	137.5	0.43	319.8
CT-8	771.8	257.3	0.50	514.5
CN-0J	358.6	119.5	0.25	478.2
スタッド2本	Q_{\max} (kN/2本)			
軸引張力なし	169.5	113.0	0.19	594.7
軸引張力あり	99.5	66.3	0.50	132.7

スタッド形状: $\phi 19(\text{mm})$, $L=100(\text{mm})$

注) ずれ剛性: 最大せん断耐力の1/3荷重点の初期割線係数

3. 漸増繰返し試験

3.1 実験供試体

漸増繰返し試験に用いる供試体形状および寸法は、単調荷重試験の供試体のものと対応している。T形鋼板ジベルの種類には、繰返し荷重を受けた場合の貫通鉄筋の効果を検討するため、付着のみで合成している供試体(CN-0)、貫通鉄筋を有する供試体(CNJ-0)の2種類を対象とし、各タイプ2体合計4体用意した(表-3参照)。

表-3 漸増繰返し試験供試体一覧

供試体名	貫通鉄筋 本数 (本)	コンクリート	
		圧縮強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)
CN-0(1)	0	27.3	39653
CN-0(2)	0	47.5	41765
CN-0J(1)	1	43.6	44997
CN-0J(2)	1	41.8	40257

3.2 荷重概要

荷重は油圧式万能試験機(MAX 100tf)を使用し、ずれ制御による荷重・除荷の漸増繰返し荷重を行った。ここで、ずれ制御の設定は、ずれが1.0mmまで

は0.2mm増すごとに、それ以降4.0mmまでは1.0mm増すごとに荷重・除荷を繰返した。4.0mm以降破壊までは1.0mm程度の増分間隔で単調荷重を行った。測定項目は先述の試験と同様である。

3.3 漸増繰返し試験結果および考察

3.3.1 最大荷重-ずれ関係

図-10にCN-0, CN-0Jの変位制御の最大荷重-ずれ関係を示す。図中における縦軸はT形鋼板ジベルに作用させた荷重であり、除荷寸前の作用せん断力の最大値、すなわち、最大荷重を示す。横軸は各最大荷重点でのずれ量である。図中には、比較のため、単調荷重時の荷重-ずれ関係をあわせて示す。CN-0では荷重初期からずれの発生約4~5mmまでは単調荷重のずれ挙動とほぼ同じ履歴をたどるが、その以降のずれ発生に伴い、漸増繰返し荷重の供試体の耐力が若干低下する傾向がみられた。次に、貫通鉄筋を有するCN-0Jに関しては荷重初期から最大ずれ量が発生するまで、単調荷重の場合とほぼ同じずれの履歴をたどることがわかる。特に、ずれが急増する1mm付近から約3.5mmまで一旦耐力の低下を示すが、それ以降においても耐力の増加は緩やかに伸び、単調荷重のずれの履歴に一致し始める。これより、本研究で用いた貫通鉄筋はD13異形鉄筋と比較的小さいにも関わらず、繰返し荷重を受ける場合においても耐力低下の抑制に効果的であるといえる。

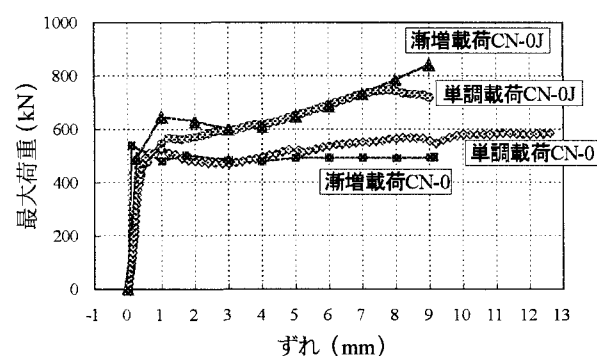


図-10 最大荷重-ずれ関係

3.3.2 最大荷重-残留ずれ関係

図-11に最大荷重-残留ずれ関係を示す。ここで、図中の横軸である残留ずれとは漸増繰返し荷重で得られる除荷したときの残留したずれ量を示し、縦軸は最大荷重を表す。

図-11をみると、付着のみで合成しているCN-0は最大荷重まで荷重を行った時点でずれが0.65mmに達し、除荷後の残留ずれは平均して0.75mm程度

であった。これに対し、貫通鉄筋を有する供試体 CN-0J は、最大荷重まで荷重を行った時点のずれが 0.49mm、除荷後の残留ずれは 0.20mm と CN-0 より小さい値を示した。CN-0 の場合では除荷中にも残留ずれが増加するのに対し、貫通鉄筋のある CN-0J では逆に残留ずれが減少している。貫通鉄筋は橋軸方向の水平せん断に対する機械的抵抗の他に、ずれの発生を抑制しつつ、かつ回復させる効果があるといえる。

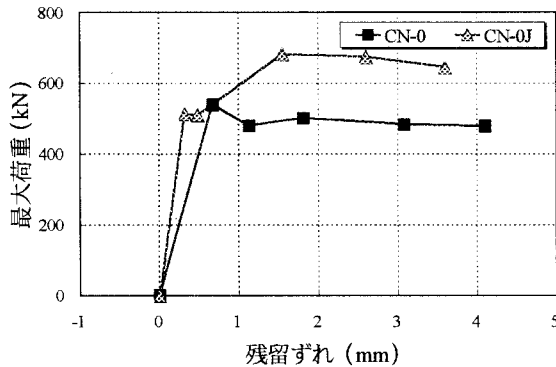


図-11 最大荷重-残留ずれ関係

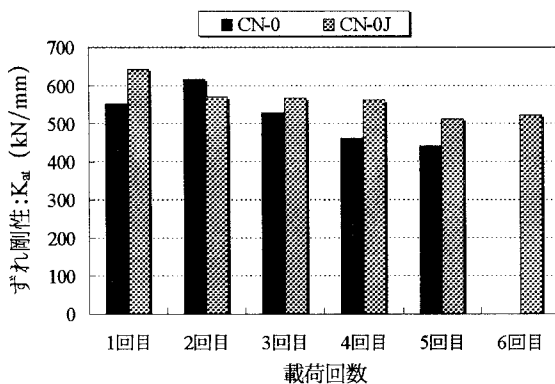


図-12 各段階におけるずれ剛性の変化

3.3.4 ずれ剛性

図-12 に各荷重・除荷の段階におけるずれ剛性の変化を示す。第1回目におけるずれ剛性は貫通鉄筋を有する場合、付着のみの場合に比べてずれ剛性は約1.2倍増大していることがわかる。次に、各荷重・除荷の回数が増えるに従い、CN-0のずれ剛性は低下の傾向にあり、終局時約20%の低下を示した。また CN-0J は CN-0 と同様に、各荷重・除荷の回数が増えるに従い、ずれ剛性の低下を示すが、CN-0 に比べずれ剛性の低下の割合は緩やかである。これより、繰返し荷重を受ける場合においても貫通鉄筋を有することで終局時においても合成状態を保つことができると考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた結論を以下にまとめて示す。

- (1) T形鋼板ジベルのフランジ部に取付けた異形鉄筋の本数に応じて最大せん断耐力(Q_{max})を向上させることが確認できた。
- (2) T形鋼板ジベルに軸引張力を与えると荷重初期からずれが発生しやすいが、最大せん断耐力は約10~20%の低下にとどまり、40%程度低下するスタッドに比べT形鋼板ジベルが軸引張力に対しても有効な形状といえる。
- (3) スタッドよりT形鋼板ジベルの方がずれ剛性が約2~4倍大きいことから、合成作用が非常に高いことが伺える。
- (4) 漸増荷重の場合でも、T形鋼板ジベルは、単調荷重のときとほぼ同様のずれ挙動を示し、大きな耐力低下は生じない。
- (5) 貫通鉄筋は付着が切れた後の第2のずれ止めとして、その効果が期待できる。また、付着のみの場合に比べ、ずれの回復を促し、靱性を改善させる効果を持ち合わせ、大きなずれに対しても十分なずれ耐力が期待できる。

今後、本形式の付着型ずれ止めの設計法の確立へむけて、さらに検討が必要である。

【参考文献】

- 1) 突起付T形鋼を用いた斜合成床版橋の構造特性と設計法、合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集、pp.63~68、1986年9月
- 2) 石原謙治、中村聖三、田中祐人、上村明弘：突起付きT型鋼ジベルを用いた合成床版の設計、第二回道路橋床版シンポジウム講演論文集、pp.243~250、2000年10月
- 3) 松野進、岩田節雄、安田和弘ほか：合成床版に用いるバルブプレート補強材の押し抜きせん断強度、第56回土木学会年次学術講演会講演概要集、I-B293、2001年10月
- 4) 高海克彦、西克幸、浜田純夫：軸力を同時に受けるスタッドのせん断耐力、鋼構造年次論文報告集、第7巻、pp.233~240、1999年11月
- 5) 高海克彦、石井暢治、浜田純夫：付着型ずれ止めのせん断耐力に関する研究、鋼構造年次論文報告集、第9巻、pp.521~526、2001年11月