

論文

[2062] 立体トラス型ジベルを有する鋼・コンクリート合成はりのせん断特性

正会員○今井富士夫（宮崎大学工学部）

正会員 中沢 隆雄（宮崎大学工学部）

正会員 太田 俊昭（九州大学工学部）

南 英明（九州大学大学院）

1. まえがき

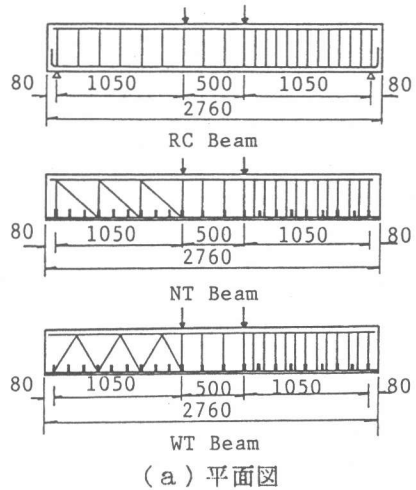
立体トラス型ジベルを有する合成版構造は工期の短縮化が可能な構造であると同時に、コンクリート打設時にはトラス構造による高い曲げ剛性を有するので、大幅な支保工の削減が可能で、また合成後にはトラス型ジベルが鋼板とコンクリートとの間のずれ止めとコンクリートのせん断補強の両機能を果たす合理的な構造として開発され^{1)・2)}、実用に供されている³⁾。この構造の曲げ性状ならびにトラス型ジベルのずれ止め機能⁴⁾についてはこれまでの実験的研究から明らかにされているが、トラス腹材のせん断補強に関する研究はまだまだ不十分であると思われる²⁾。本論文ではトラス腹材の力学性状を明らかにすることを目的に、まずせん断補強材

としてのみ設計されたトラス腹材を有する桁高の高いはりの破壊実験を行い、その結果に基づいて作用せん断力とトラス腹材の応力度の関係について論じている。次いで、その考察を基にせん断補強とずれ止めの2つの機能を有する合成はりの実験¹⁾から得られたデータを整理し直し、トラス腹材の設計法に関して検討を加えている。

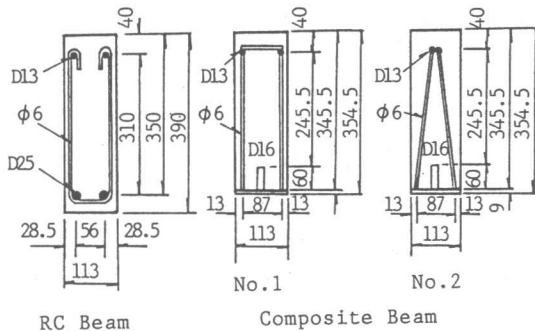
2. 供試体

供試体は、図-1に示すような、(1)スターラップによってせん断補強されたRCはり(2)スターラップと折曲げ鉄筋を想定したせん断補強筋をトラス腹材とする合成はり(NT)および(3)トラス型ジベルの形状であるワーレントラス型の合成はり(WT)の3種である。トラスは平行(No.1)と立体(No.2)の2つの形状を考え、その格点はすべて溶接にて接合した。また、合成はりではずれ止めのないもの(Type I)とスタッドジベル状ずれ止めを配置したもの(Type II)の2つを考えた。

なお、使用材料の特性値をそれぞれType IとType IIの順に示すと次のようになる。RCはりの引張鉄筋はSD30(降伏強度 $\sigma_v=3716\text{kgf/cm}^2$; 3612kgf/cm^2)、合成はりの底部鋼板はSM50($\sigma_v=4139\text{kgf/cm}^2$)



(a) 平面図



(b) 断面図

図-1 供試体

;3704kgf/cm²、圧縮鉄筋は SD30($\sigma_v=3494$ kgf/cm²;3700kgf/cm²)、スターラップや腹材は SR24($\sigma_v=2908$ kgf/cm²;2986kgf/cm²) およびコンクリートの圧縮強度は 361kgf/cm²;414kgf/cm² である。

3. 実験結果および考察

(1) ひびわれ発生状況および終局荷重

図-2 に終局時のひびわれ発生状況を示す。

RC はりでは曲げひびわれは分散して発生し、その後、斜めひびわれがせん断支間中央に発生して破壊に至っている。一方、合成はりの曲げひびわれは、トラス腹材と鋼板との格点近傍にのみ発生し、RC はりほどの分散はみられない。また斜めひびわれに関しては、ずれ止めを施した合成はりは RC はりと同様な形状を呈するが、ずれ止めのない

合成はりは、載荷点に最も近い格点の曲げひびわれがそのまま斜めひびわれに変化・進展して破壊に至っている。特に WT 型においては、トラス構造の圧縮斜材に沿うようなかたちで斜めひびわれが伸張している。

表-1 はせん断耐力の実験値と理論値を示したものである。ただし、理論値はコンクリート標準示方書を参考に材料係数 $\gamma = 1$ として算定された。RC はりやずれ止め補強された合成はりの実験値は概ね理論値を上回るが、ずれ止め補強を施していない合成はりの実験値は理論値を大きく下回っている。特に WT 型での実験耐力はコンクリートの理論せん断耐力 (4.74tf) ほどでしかない。

(2) せん断補強筋の荷重-ひずみ特性

合成はりの実験結果で、立体と平面のトラス形状による差異はほとんど見受けられなかったので、以下では、No.2 の立体トラス型の合成はり

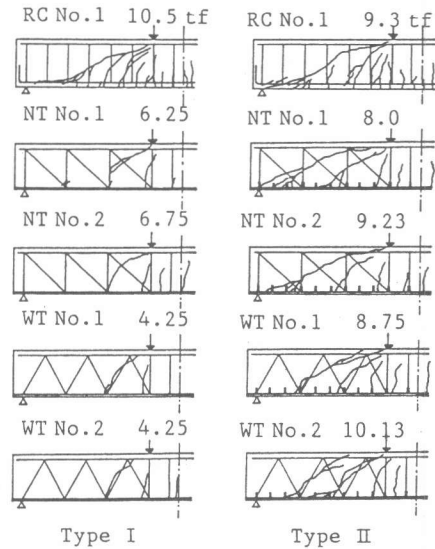


図-2 ひびわれ発生状況

表-1 せん断耐力

	Type I			Type II		
	理論値	実験値	実/理	理論値	実験値	実/理
RC No.1	7.37	10.5	143	7.66	9.30	122
NT No.1	7.96	6.25	79	8.27	8.00	97
NT No.2	7.94	6.75	85	8.24	9.23	112
WT No.1	6.99	4.25	61	7.30	8.75	120
WT No.2	6.97	4.25	61	7.28	10.1	139

ただし、耐力の単位は tf, 比は百分率

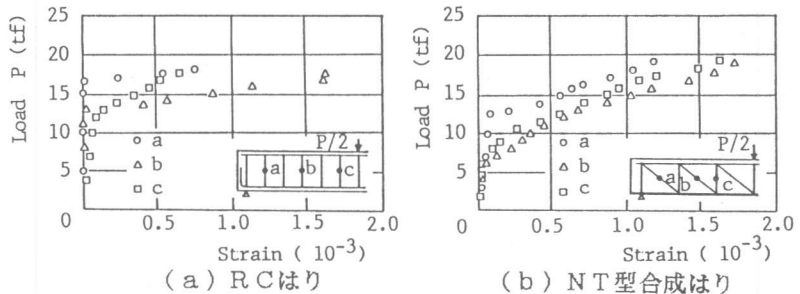


図-3 a 荷重-ひずみ特性

について論ずることとする。

図-3はRCはりとは合成はり (Type II) の腹材の荷重-ひずみ特性を示したものである。ただし、図-3 (c) の点cに関してはずれ止め補強をしていないはりのデータ (記号: ■) も図示している。いずれの供試体でも、ひずみが急増する荷重レベルは、せん断支間の中央部がその両端よりも早いようである。その後の荷重に対するひずみの増加率も中央付近が最も顕著であるといえよう。次に、斜めひびわれ発生方向に配置されたWT型の斜め筋すなわちトラスの圧縮斜材に相当する部材のひずみ (図-3 (c) の口と■) の変化についてみれば、ずれ止めを施したはりでは荷重の増加とともに引張ひずみと変化している。これに対して、ずれ止めのないはりでは負のひずみは荷重の増加とともに増大する傾向にあり、この圧縮ひずみ増大が、図-4に示すように、コンクリートの斜めひびわれの発生やその後のひびわれの伸張を助長することになり、Type I のWT型はコンクリートのせん断耐力以下で破壊したと思われる。

(3) 作用せん断力の低減係数

支点および載荷点付近では支圧力によってせん断耐力は上昇する。つまり、みかけ上の作用せん断力は低減する。岡村ら^(6)・7)は、この低減を低減係数により以下のように表現している。

まずせん断補強筋に対しては、みかけの作用せん断力は支点より $1.5d$ および載荷点より d の範囲で低減があるものとして、図-5 (a) に示すような作用せん断力の低減係数 β_{sr} を与えている。

またコンクリートに対しては、支点および載荷点から $2.8d$ の範囲で作用せん断力の低減があると考え、作用せん断力に乘じる低減係数 β_c は、図-5 (b) に示すように支点からの影響からくる β_{c1} と荷重 (載荷点) の影響を考慮した β_{c2} の平均値としている。すなわち、

$$\beta_c = (\beta_{c1} + \beta_{c2}) / 2 \quad (1)$$

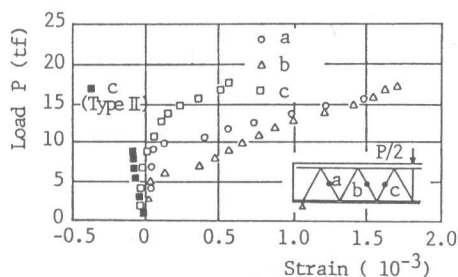
ただし、 $x = 2.8d$ のとき $\beta_{c1} = 1$

$0 \leq x \leq 2.8d$ のとき

$$\beta_{c1} = \frac{1}{0.75 + 1.4 / (2x/d)} \quad (2)$$

あるいは、

$$\beta_{c1} = 0.21 (0.098 f_c')^{-1.6} \{1 + (2x/d)^2\} \quad (3)$$



(c) WT型合成はり

図-3b 荷重-ひずみ特性

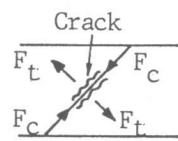
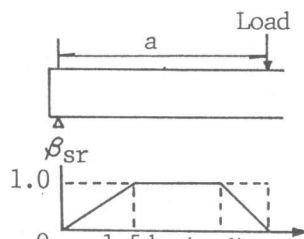
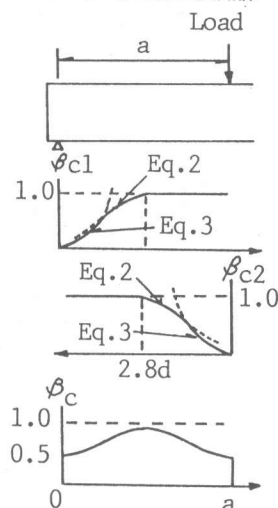


図-4 圧縮斜材とひびわれ



(a) せん断補強筋



(b) コンクリート

図-5 低減係数

となり、いずれか小さい方の値をとる。

ここで、 x は支点あるいは載荷点からの距離、 f_c' はコンクリートの圧縮強度 (kgf/cm^2)。なお、文献7)では f_c' は、SI単位を使用しているが、本論では cgs単位を使用した。

(4) 作用せん断力とせん断補強筋の分担せん断力

ここでは、節(2)の荷重に対するせん断補強筋のひずみを、コンクリート標準示方書⁵⁾を参考にして得られた次式を用いて、分担せん断力 V_s を算出した。

$$V_s = \{E A_s \cdot \varepsilon \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot \cos \delta\} \cdot z / s \quad (4)$$

ここに、 $E A_s$ はせん断補強筋の軸剛性、 ε はせん断補強筋のひずみ、 α はせん断補強筋と部材軸のなす角、 δ はせん断補強筋と断面桁高方向軸とのなす角、 s はせん断補強筋間隔、 $z = d / 1.15$ で、 d は桁の有効高さである。

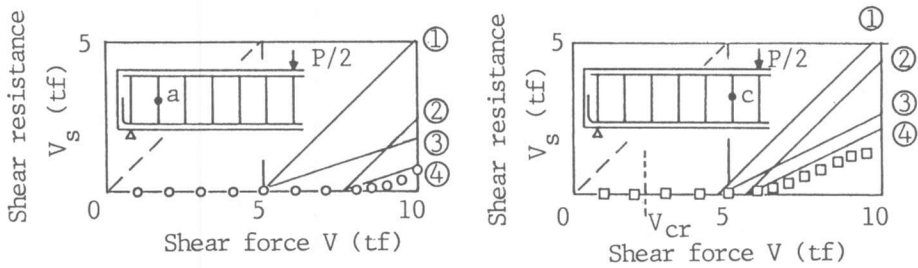


図-6 RCはりの作用せん断力と分担せん断力の関係

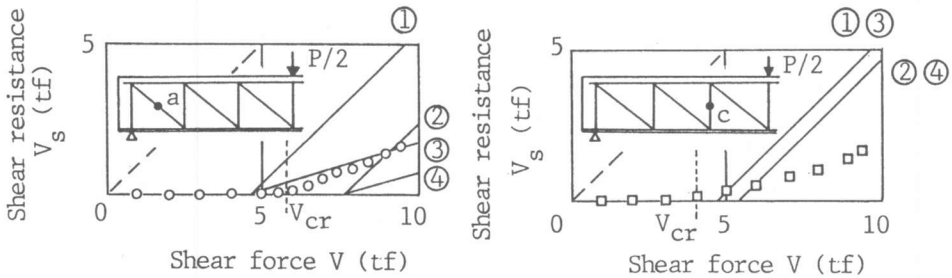


図-7 合成はり (NT型) の作用せん断力と分担せん断力の関係

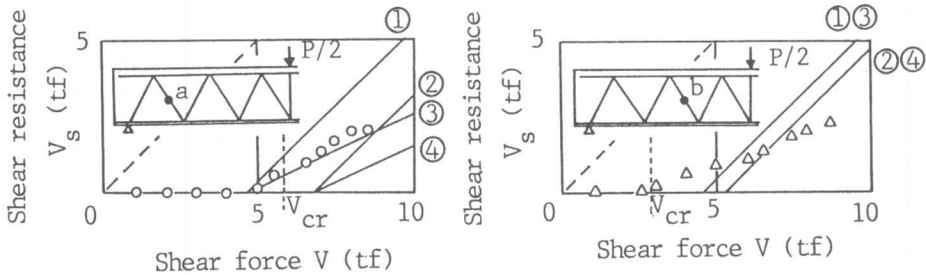


図-8 合成はり (WT型) の作用せん断力と分担せん断力の関係

図-6~図-8は、それぞれRCはりおよび止めを施した合成はりの式(4)より得られたせん断補強筋の分担せん断力と作用せん断力の関係を示したものである。図中の①~④は、次に示すような4つのモデルに対する理論値である。また、 V_{cr} は垂直材ではその点の、斜材では鋼板との格点の曲げひびわれ発生時の理論せん断力である。

①作用せん断力の低減を考慮しない場合

$$V \leq V_c : V_s = 0$$

$$V \geq V_c : V_s = V - V_c$$

③せん断補強筋のみに低減を考慮した場合

$$V \leq V_c : V_s = 0$$

$$V \geq V_c : V_s = \beta_{sr} (V - V_c)$$

②コンクリートのみに低減を考慮した場合

$$V \leq V_c / \beta_c : V_s = 0$$

$$V \geq V_c / \beta_c : V_s = V - V_c / \beta_c$$

④両者ともに低減を考慮した場合

$$V \leq V_c / \beta_c : V_s = 0$$

$$V \geq V_c / \beta_c : V_s = \beta_{sr} (V - V_c / \beta_c)$$

図-6から明らかなように、RCはりのせん断補強筋の分担せん断力に関する実験値は、④のモデルと良く一致している。このことは岡村らの低減係数の妥当性を示唆するものである。

次に合成はり全体を通してみると、腹材がせん断力を分担し始めるときのせん断力は、理論的な曲げひびわれ発生時のせん断力と低減を考慮していない斜めひびわれ発生せん断力のいずれか小さい方となっている。また、作用せん断力に対する腹材の分担せん断力はRCはりのスターラップのそれよりも大きくなっている。これをそのまま解釈すれば、合成はりのコンクリートの分担せん断力は、RCはりのそれに比べ、下回るはずである。よって、合成はりでの斜めひびわれ発生荷重やせん断耐力はRCはりよりも大きくなるべきであるが、実験結果からはそういった傾向はみられない。このことは、早期のトラス腹材のひずみの増加は曲げに伴うせん断によるものではないことを示唆するもので、腹材の力学的性状から考えれば、これはいずれ抵抗に起因するものではないかと思われる。ここでの実験では、ずれ止めをしていない供試体

はこれを論評するには不十分な荷重レベルで破壊しており、またずれ止めを施した供試体はずれ止めとトラス腹材のずれ変形に対する分担率が定かでない。そこで、次にトラス腹材のせん断分担とずれ変形による応力発生を過去の実験例¹⁾により考察する。

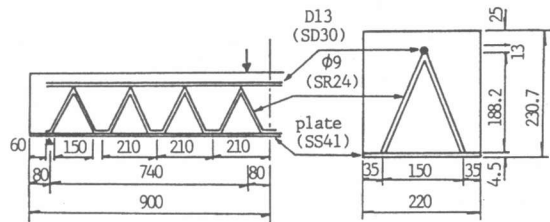


図-9 供試体¹⁾

4. トラス腹材の設計に関する検討

図-10は図-9に示す供試体のトラス腹材の荷重-ひずみ曲線である。図中の実線は実験値であり、一点鎖線はずれ変形から生じる腹材ひずみの理論値である。ここで、理論値は曲げひびわれ発生後のせん断応力分布による底部鋼板上のせん断応力度から換算されたせん断力と腹材の力のつりあい式¹⁾から得られたものである。図から、いずれの腹材においても実験でのひずみの発現からある荷重レベルまでのひずみの増加率は理論のそれとほぼ一致していることが

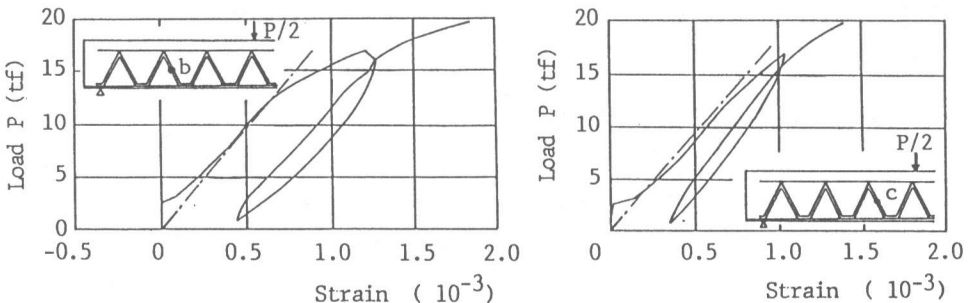


図-10 荷重-ひずみ曲線

判る。

そこで、測定ひずみからずれ変形によるひずみを差し引いたものを用いて、分担せん断力を算定すると、図-11の△、□のようになる。これらは、RCはりの結果と同様に、理論値④にて近似できるようなのである。このことから、トラス腹材はずれ変形による応力度と、せん断補強筋の低減係数を考慮したせん断抵抗による応力度の両者を考慮して設計する必要があるといえる。

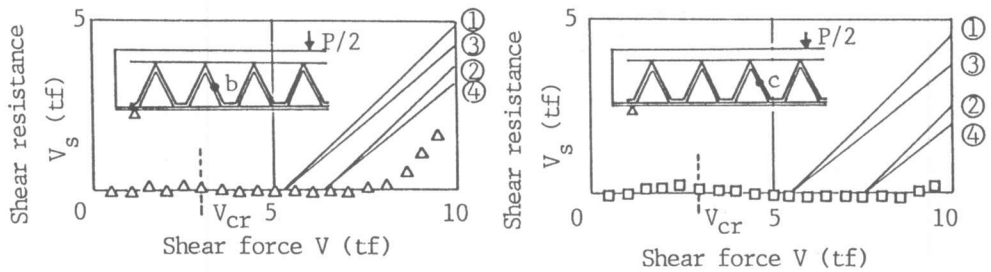


図-11 作用せん断力と分担せん断力の関係

5. まとめ

以上の結果を要約すると、次のようになる。

- 1) 岡村らが提案した作用せん断力に関する低減係数は、RCはりのせん断補強筋の挙動を正確に表現できる。
- 2) 合成構造でWT型を用いる場合は、十分なずれ防止が必要となる。
- 3) トラス腹材の設計では、ずれ抵抗とせん断抵抗の両者から生じる複合応力度を考慮する必要がある。

<参考文献>

- 1) 太田俊昭、日野伸一、輿石正巳、北之園宏：立体トラス型ジベルを有する鋼板-コンクリートはりの構造特性、コンクリート工学年次論文報告集、9-2、1987、pp.525~530
- 2) 太田俊昭、日野伸一、輿石正巳、日向泰山：立体トラス型ジベルを有する合成版構造の力学特性と設計法に関する研究、構造工学論文集、Vol.34A、1988、pp.297~305
- 3) Ohta, T., Hino, S., Imai, F. and Asakura, H.: Design and Construction of a New Steel-Concrete Composite Slab Bridge, Pacific Concrete Conference, Vol.1, 1988, pp.393~404
- 4) 太田俊昭 他：トラス型ジベルの押し抜きせん断挙動、合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集、1986、pp.119~124
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編、1986
- 6) Okamura, H. and Farghaly, S.: Shear Design of Reinforced Concrete Beams for Static and Moving Loads, Proc. of JSCE, No.287, 1979, pp.127~136
- 7) 二羽淳一郎、山田一字、横沢和夫、岡村 甫：せん断補強鉄筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価、土木学会論文集、1986、pp.127~136