コンクリート工学年次論文報告集 11-2 1989

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

正会員〇今井富士夫(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 な、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<sup>1),2)</sup>、実用に供されている<sup>3)</sup>。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<sup>4)</sup>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いまだ不十分であると思 われる<sup>2)</sup>。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<sup>11</sup>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はりと(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Ty pe I とType II の順に示すと次のようにな る。R C はりの引張鉄筋は SD30(降伏強 度  $\sigma_y$ =3716kgf/cm<sup>2</sup>;3612kgf/cm<sup>2</sup>)、合成 はりの底部鋼板はSM50( $\sigma_y$ =4139kgf/cm<sup>2</sup>



D16

1.87

113

No.1

(b)断面図

図-1 供試体

13

Composite Beam

113

No.2

13

28.5

- 375 -

RC Beam

D13

Φ6

D25

28.5

;3704kgf/cm<sup>2</sup>)、圧縮鉄筋は SD30(σ<sub>y</sub>=3494kgf /cm<sup>2</sup>;3700kgf/cm<sup>2</sup>)、スターラップや腹材は SR 24(σ<sub>y</sub>=2908kgf/cm<sup>2</sup>;2986kgf/cm<sup>2</sup>) およびコン クリートの圧縮強度は 361kgf/cm<sup>2</sup>;414kgf/cm<sup>2</sup> 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。

R C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、R C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R Cはりとほぼ同様な形状を呈す RC No.1 10.5 tf RC No.1 9.3 tf 6.25 NT No.1 NT No.1 8.0 6.75 NT No.2 NT No.2 9.23 4.25 WT No.1 WT No.1 8.75 WT No.2 4.25 WT No.2 10.13 Type I Type II 図-2 ひびわれ発生状況

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

表-1 せんと	耐力
---------	----

	Туре I			Туре II		
	理論値	実験値	実/理	理論值	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、耐力の単位はモゴ、比は百分率

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γ=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



について論ずることにする。

図-3はRCはりと合成はり(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



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ものと思われる。

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

(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<sup>6)・7)</sup>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 1.5 d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  $\beta_{sr}$ 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 乗じる低減係数 β₀は、図-5(b)に示すように支点から の影響からくるβ₀₁と荷重(載荷点)の影響を考慮したβ₀₂ の平均値としている。すなわち、

$$\beta_{\circ} = (\beta_{\circ 1} + \beta_{\circ 2}) / 2$$
 (1)  
ただし、x = 2.8dのとき  $\beta_{\circ i} = 1$   
0 ≤ x ≤ 2.8dのとき

$$\beta_{\circ i} = \frac{1}{0.75 + 1.4 / (2 \times / d)}$$
(2)

あるいは、

$$\beta_{ci} = 0.21 (0.098 f_{c'})^{-1/6} \{1 + (2 \times d)^{2}\}$$
(3)



- 377 -

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。'はコンクリートの圧縮強度(kgf/cm<sup>2</sup>)。 なお、文献7)ではf。'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<sup>5)</sup>を 参考にして得られた次式を用いて、分担せん断力V<sub>s</sub>を算出した。

 $V_{s} = \{ E A_{s} \cdot \varepsilon \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot \cos \delta \} \cdot z / s$ (4)

ここに、 $EA_s$ はせん断補強筋の軸剛性、 $\epsilon$ はせん断補強筋のひずみ、 $\alpha$ はせん断補強筋と部 材軸のなす角、 $\delta$ 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~図-8は、それぞれRCはりとずれ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、Vor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

 $V \leq V_{c}$ :  $V_{s} = 0$ 

 $V \ge V_{c}: V_{s} = V - V_{c}$ 

③せん断補強筋のみに低減を考慮した場合

 $V \leq V_{\rm o}: V_{\rm s}=0$ 

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

②コンクリートのみに低減を考慮した場合  $V \leq V_{c} / \beta_{c} : V_{s} = 0$  $V \ge V_{c} / \beta_{c} : V_{s} = V - V_{c} / \beta_{c}$ ④両者ともに低減を考慮した場合  $V \leq V_{c} / \beta_{c} : V_{s} = 0$  $V \ge V_{c} / \beta_{c} : V_{s} = \beta_{sr} (V - V_{c} / \beta_{c})$ 

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の関係 を過去の実験例いにより考察する。





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<sup>1)</sup>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



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△、口のようになる。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  $\sim\!404$
- 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 $\sim$ 136
- 7) 二羽淳一郎、山田一宇、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