

## PC複合トラス橋の格点構造に関する研究

(株)大林組 正会員 ○加藤敏明  
日本道路公団 本間淳史  
日本道路公団 正会員 青木圭一  
(株)大林組 正会員 星加益朗

### 1. はじめに

PC箱桁橋のウェブに鋼トラスを用いたPC複合トラス橋は、従来のPC橋に比べて自重の軽減や施工の合理化が可能で、また鋼トラス橋に対してもメンテナンスを含めた経済性は有利であり、今後の発展が期待されている。そのトラス格点部はトラス材軸力をコンクリート床版へ伝達する重要な構造部位である。筆者らは、シンプルな構造で施工性・経済性に優れた構造を目標に、外側鋼管によりトラス材周りのコンクリートの拘束効果を高めた定着構造を用いた二重管格点構造を開発した。本報告では、この二重管定着構造の模型実験および解析結果について述べる。

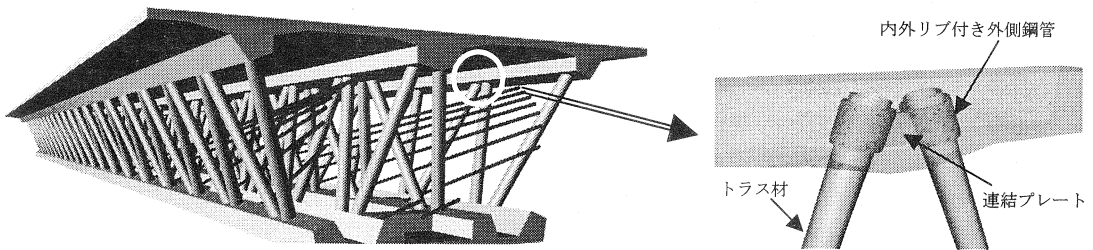


図-1 二重管格点構造

### 2. 二重管格点構造の特徴

二重管格点構造は図-1に示すようにトラス材本体の外側リブ付き鋼管、内外面リブ付き孔あき外側鋼管、外側鋼管を連結するプレートで構成されている。トラス材の受持つ軸力は、外側リブ付き鋼管からコンクリートを介し、外側に配置された内外面リブ付き鋼管に伝達される。さらにこの軸力は、せん断力として外周コンクリートと連結プレートによって一方のトラス材に伝達される構造となっている。

ここで、①外側リブ付き鋼管は、リブによるコンクリートとの付着力の向上、②内外面リブ付きの外側鋼管は、内側のトラス材定着部を拘束して付着力を高めるとともに、軸力を伝達する役割を有している。なお、外側鋼管の孔は、コンクリートとの付着力と充てん性の向上を目的に設けている。

本格点構造は、コンクリートと鋼管の合成効果によりせん断力を伝達するので、接合時の精度管理や接合方法が張り出し架設工法に適している。

### 3. 二重管定着の引き抜き付着強度実験

#### 3.1 二重管定着構造の特徴

本定着構造の基本は、トラス材外側リブによる軸力のコンクリートへの付着伝達によるものである。

図-2 に示すように、トラス材周辺コンクリートを剛性の高い外側鋼管で拘束してリブ付着性能の向上させている。さらに、外側鋼管の内外にもリブを付け、内外鋼管間にコンクリートの圧縮ストラットを形成することで、トラス材引抜き力を外側鋼管に伝達し、より表面積の大きい外側鋼管の外リブ付着と孔のコンクリートジベル効果によりコンクリートへの定着を図る構造である。

### 3.2 試験体

引抜き試験体と加力装置を図-3 に示す。試験体は3,000kN の引抜き力を想定した内側鋼管(STK490 φ457.2×t19)と外側鋼管(SKK490 φ600×t13, 孔径φ30)を大きさ1,540×1,540×1,050 の鉄筋コンクリートへ埋め込んだ構造である。定着長は内側鋼管径とした。試験体に使用した材料試験結果を表-1 に示す。

### 3.3 付着強度

図-4 に二重管補強とリング筋補強を施した場合のリブ付き鋼管の平均付着応力度とすべり量(リブ付鋼管と周辺コンクリートの相対変位)の関係を示す。最大付着応力度  $\tau_{max}$  は、リング筋補強  $6.8\text{N}/\text{mm}^2$  に対して、二重管は  $15.4\text{N}/\text{mm}^2$  と2倍以上になっており、リブ付鋼管の引抜きによる周辺コンクリートの鋼管法線方向への膨張を剛性の高い鋼管で拘束することで、付着性能が大きく改善されることが確認できた。

表-1 材料試験結果

		単位: $\text{N}/\text{mm}^2$	
コンクリート	圧縮強度	57.7	増強係数
	引張強度	3.74	$3.3 \times 10^4$
トラス材 STK490	降伏強度	474	外側鋼管 SKK490
	降伏強度	424	

## 4. 格点部の耐荷力実験

### 4.1 試験体

試験体はPC複合トラス橋の一部を取り出した図-5 に示すような構造とした。模型縮尺は1/2であり、実橋でのトラス材軸力として3000kNを想定した。コンクリート強度は  $40\text{N}/\text{mm}^2$ 、トラス材は STK490、φ213.3 の鋼管である。載荷はアクチュエーターを用いてトラス材の設計荷重およびその1.7倍の終局荷重を確認した後、試験体が破壊に至るまで加力を実施した。

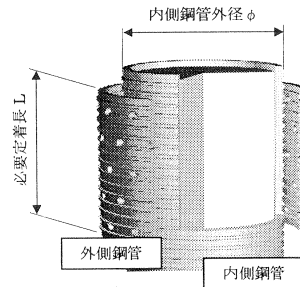


図-2 定着部詳細図

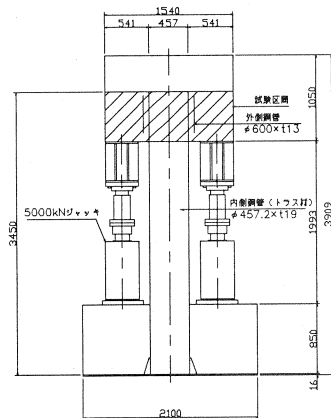


図-3 試験体と加力装置

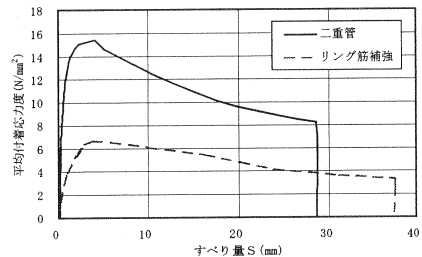


図-4 付着応力度とすべりの関係

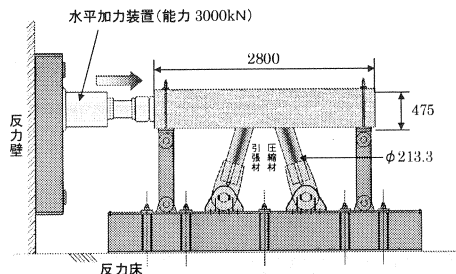


図-5 試験体

4.2 作用せん断力

図-6に実験結果から得られた格点部の作用せん断力と変位の関係を示す。格点部のせん断力は、連結プレート( $V_p$ )、せん断補強筋( $V_s$ )およびコンクリート( $V_c$ )で分担されると考えられる。そこで、最大荷重後の耐力低下を  $V_c$ 、トラス理論によるせん断補強分を  $V_s$ 、連結プレートの降伏耐力を  $V_p$  として累加すると、最大荷重時の作用せん断力に概ね一致することが確認された。

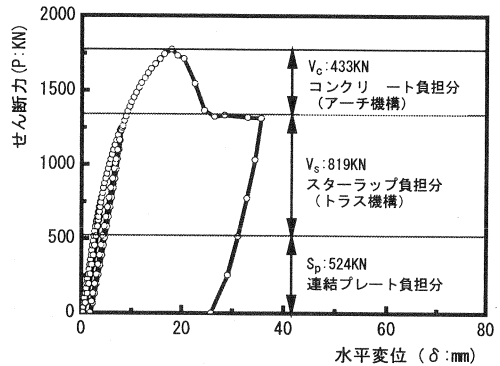


図-6 せん断力分担

5. 非線形 FEM 解析による検討

5.1 解析方法

図-7に示すように解析モデルは耐力力実験と同様に  $\pi$  型の格点部をモデル化しており、対称条件より 1/2 断面とした。トラス材と外側鋼管の間のコンクリート(図-7の拡大図参照)については、外側鋼管による拘束効果を考慮して、圧縮強度を通常の 1 倍と 3 倍の 2 種類とした(モデル A、B)。表-2に解析に用いた材料特性を示す。また、トラス材端部はピン構造とし、コンクリートとトラス材および連結プレートとの接合面は剥離・滑りを考慮した。接合面の滑り挙動は引抜き試験<sup>1)</sup>で得られた付着力-滑り関係を用いた。なお、解析には三次元非線形 FEM 解析ソフト FINAL を使用した。<sup>3)</sup>

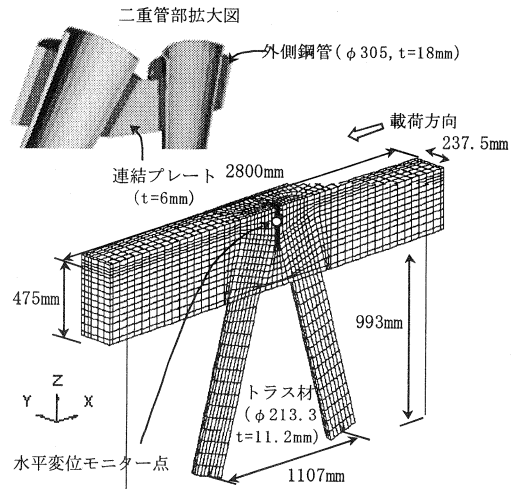


図-7 解析モデル

5.2 破壊性状

図-8に荷重-変位曲線を、図-9に連結プレートのせん断ひずみの履歴曲線を示す。また、表-3に諸荷重の一覧を示す。初期剛性および連結プレートの初降伏から最大荷重に至るまでの挙動は実験結果と概ね一致している。連結プレートは上から下に向かって降伏が進行するが、モデル A では連結プレートの最下端が降伏することなく、荷重低下が生じた。このように、最大荷重に達した後にモデル化の相違が表れている。なお、スターラップについては、両モデルとも最大荷重後に降伏に達している。

表-2 材料特性

	鋼材および鉄筋	コンクリート(モデルA)		コンクリート(モデルB)	
		降伏強度 ( $N/mm^2$ )	引張強度 ( $N/mm^2$ )	降伏強度 ( $N/mm^2$ )	引張強度 ( $N/mm^2$ )
トラス材	430				
外側鋼管	280	56.4	3.3	169.2	5.7
連結プレート	350				
鉄筋	370				

コンクリート	応力-ひずみ関係: 修正Ahmadモデル tension stiffening考慮 ひび割れ後の圧縮強度、せん断強度低減考慮
鋼材および鉄筋	応力-ひずみ関係: bilinear

5.3 格点部のせん断力分担

格点部に作用するせん断力  $V$  は連結プレート  $V_p$ 、せん断補強筋とコンクリートによるトラス機構  $V_s$  およびコンクリ

ート  $V_c$  で分担されると考えられる。図-9の解析で得られた各せん断力分担の履歴曲線によれば(モデル B)。  $V_p$  は中央断面における連結プレート鉛直方向のせん断応力の総和、  $V_s$  はコンクリート断面鉛直方向のせん断応力の総和  $Q_c$  より、スターラップの引張力  $T_s$  とコンクリート要素鉛直方向の圧縮応力の総和  $C_c$  を用いて、  $V_s = Q_c \times T_s / C_c$  として求めた。また、  $V_c$  はコンクリート断面に作用するせん断力の残りとして  $V_c = Q_c - V_s$  より求めた。

図-9より格点部に作用するせん断力については、載荷荷重  $P=300\text{kN}$  程度まではコンクリートのみで負担しているが、せん断ひび割れの発生とともに、連結プレートとトラス機構による負担分が増加し、それらが共同してせん断力を負担していることが分かる。最大荷重時において、  $V_p$ 、  $V_s$  および  $V_c$  と分担割合はそれぞれ  $512\text{kN}(31\%)$ 、  $634\text{kN}(30\%)$ 、  $481\text{kN}(39\%)$  であり、最大荷重に達した後も  $V_p$  と  $V_s$  は保持される。しかし、コンクリート負担分  $V_c$  は急激に低下する傾向を示しており、この負担分は実験における最大荷重後の耐力低下分に対応していると考えられる。

5. まとめ

二重管構造を用いた複合トラス橋の格点に関して、実験および解析により設計荷重時から破壊に至るまでの挙動を確認することができた。さらにせん断耐力がコンクリート、せん断補強筋および連結プレートの累加強度で求められることを示した。この結果により、本格点構造のせん断耐力式を提案したが、これに関しては紙面の都合により別の機会に発表したい。

本二重管格点構造は、現在施工中の第二東名高速道路の猿田川橋・巴川橋に実用化されている。

参考文献

- 1) 松田、加藤、野村、星加: PC 複合トラス橋格点部の引き抜き耐力に関する実験的研究、土木学会 第 58 回年次学術講演会
- 2) 野村、本間、松田、星加: 複合トラス橋格点部の耐荷力実験、同上
- 3) 富永、青木、野村、星加: PC 複合トラス橋格点部におけるせん断耐荷機構の解析的検討、同上

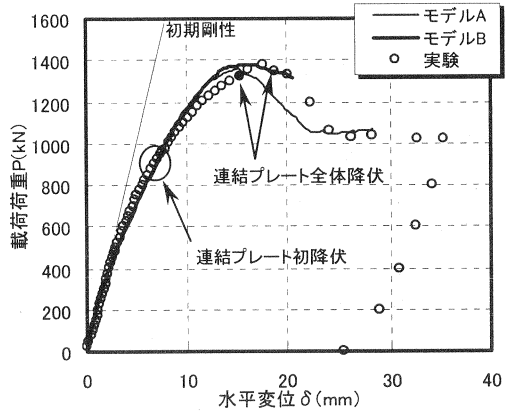


図-8 荷重-変位曲線

表-3 諸荷重一覧

イベント	発生荷重(kN)		
	解析		実験
	モデルA	モデルB	
せん断ひび割れ発生	-	-	575
連結プレート初降伏	981	914	951
連結プレート全体降伏	-	1344*	1326
スターラップ降伏	1167*	1370*	1353
最大荷重	1359	1377	1377

\*:最大荷重以後

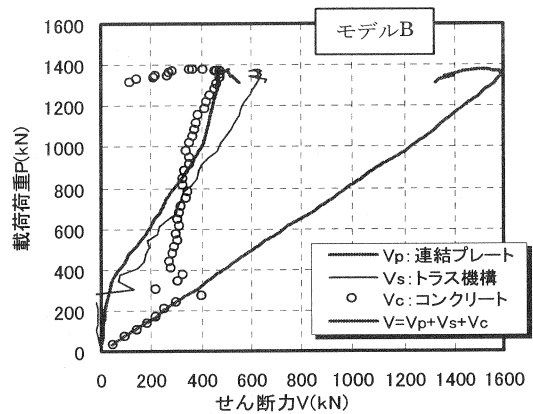


図-9 せん断力分担履歴曲線