

鋼トラス・コンクリート接合部の実験的研究

AN EXPERIMENTAL STUDY ON A STEEL TRUSS-CONCRETE CONNECTION

星埜 正明*、大野 正芳**、永井 篤***、大館 武彦****

Masa-aki HOSHINO, Masayoshi OHNO, Atsushi NAGAI and Takehiko OHDATE

* 工博 Dr.-Ing. 日本大学 理工学部 交通土木工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

** 工修 大日本コンサルタント(株) 企画本部 情報企画部 (〒343-0851 埼玉県越谷市七左町5-1)

*** 工修 住友建設(株) 土木本部 PC設計部 (〒160-8577 東京都新宿区荒木町13-4)

**** 住友建設(株) 技術研究所 (〒329-0432 栃木県河内郡南河内町仁良川1726)

In recent years steel-concrete composite structures are often planned or actually employed in highway bridges in Japan. One of them is a steel truss-concrete composite girder, in which no steel chords exist so that the upper and lower concrete plates are directly connected to steel truss web members at each joint. Also a space truss structure, which consists of a steel lower chord, webs and a concrete slab, has a similar joint connection. The knowledge of the static behaviour and stress transfer at steel-concrete connections are crucial for the reasonable and sound design of these composite girders. To investigate the static behavior including the ultimate load carrying capacity of a steel truss - concrete connection as used in the girder of an actual space truss bridge experiments were carried out using full scale test models. In this paper the results of these experiments and FEM analysis will be presented.

Key Words : composite structure, steel truss-concrete connection, full scale model test

1. まえがき

近年、我が国で道路橋建設技術に関して、合理化あるいは省力化の必要性が強調されている^{1),2)}。その具体的な動きの一つとして、鋼-コンクリート合成構造橋を挙げることができる。合成構造にもいくつかの形式があるが、上床版と下フランジにコンクリートを用い、ウェブに鋼トラスを用いた構造もその一つに数えられる。古くから鋼トラスにコンクリート床版を合成した、いわゆる合成トラスはよく知られているが、上述の合成構造は、一般に、ウェブのみが鋼トラスで鋼弦材は設けられないという点で、従来の合成トラスとは異なった構造形式である。むしろ、PC箱桁橋のウェブを鋼トラスで置き換えた構造と考えた方が理解し易い。鋼下弦材と鋼斜材でトラスを形成し、コンクリート床版と結合したいわゆるスペーストラス構造も、鋼斜材とコンクリートを格点部のみで結合しているという点では、共通である。

このような合成構造では、鋼トラス斜材からコンクリート部材への力は、橋軸方向には不連続的に各格点部で集中して流れるため、格点接合部の応力状態はかなり複雑である。設計上、鋼トラス斜材とコンクリートの接合

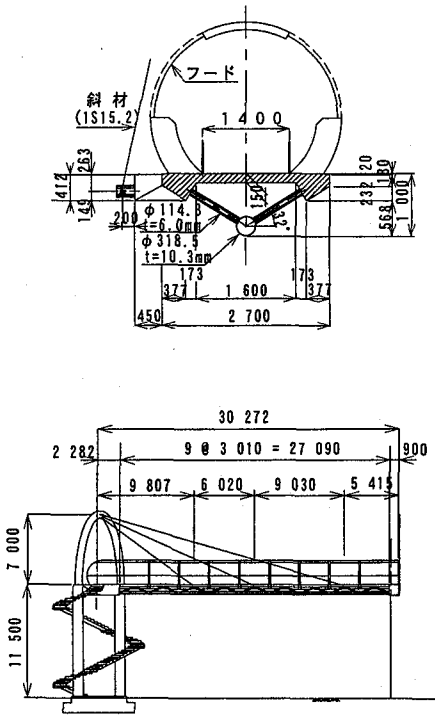


図-1 SBSリンクウェイ橋の概要

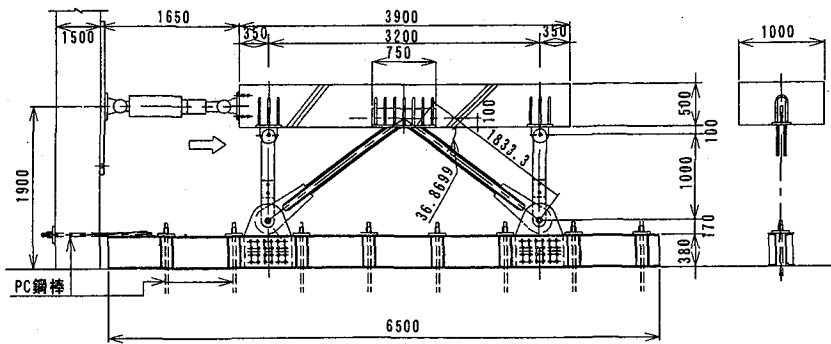


図-2 試験体の概要と設置状況

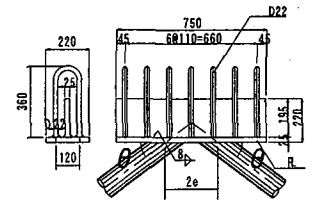


図-3 接合部の構造詳細

部の構造詳細は重要な問題である。

鋼トラスとコンクリートの接合部の構造については、種々のものが可能であり、標準的なものが確立されているわけではない。また、設計の考え方についても統一されたものはない。このような中で、本研究は、鋼トラス・コンクリート接合部のある一つの構造形式を対象として、実物大の実験を行うとともに、FEM解析を行い、その応力性状を知り、より合理的な設計を可能とすることを目的として行ったものである。対象とした接合構造は、シンガポールに完成した、SBSリンクウェイ橋に採用されたものである。図-1にSBSリンクウェイ橋の概要を示す。斜張橋であるが、桁はいわゆるスペーストラス構造となっている³⁾。

2. 試験体

実験は2種類の試験体（試験体1と2）を用いて行った。試験体の概要と設置状況を図-2に示す。図から分かるように、試験体は実橋の桁の1パネル分を取り出して簡略化したもので、コンクリート床版と鋼管トラス斜材との接合部が検討対象である。コンクリート床版の幅は1mとしたが、この程度の幅があれば、平面的な力の流れを再現するのに十分と判断したためである。

試験体1と2の相違は斜材の断面で、前者は実橋と同じであり、後者では板厚を2倍の12mmにし、さらに、内部にモルタルを充填している。試験体1では斜材が先に破壊し、接合部の耐力が分からないことが予想されたため、試験体2では斜材を強くし、接合部の破壊が先に起こるように意図したものである。

接合部の細部構造は、図-3に示すようになっている。逆T形断面の鋼接合部材に逆U形鉄筋D22を7本溶接し、コンクリート内に埋め込む。鋼管斜材は鋼接合部材の底板に溶接して結合する。力の伝達に伴い、接合部には水平方向と鉛直方向のせん断力、曲げモーメント等が生じる。実橋の設計では、逆U形鉄筋は水平方向のせん断力と鉛直方向の引張力を伝達し、鋼接合部材のリブ（腹板）は鉛直方向のせん断力に抵抗するように考えている。曲げモーメントは鋼接合部材のみで受けるとしている。

両トラス斜材の軸線交点とコンクリート床版との軸線

とは一致しないため、偏心曲げが生じる。この偏心曲げを受けるために両端に垂直材を配した。両斜材の下端は支持架台とピン結合している。横倒れを防止するため、コンクリート床版の4カ所で横方向に支持した。なお、試験体2では、荷重が145tfで実験装置の能力が一杯となり、一度完全に除荷し別の装置に切り替えて載荷を続行したが、支持状況は基本的には変わらない。

荷重は、図-2に示すように、コンクリート床版の片側端部から軸力として作用させた。軸力は接合部を通じてほぼ全て斜材に伝達される。実際の構造物では、一般的に、床版の軸力の一部のみが斜材に流れるに過ぎないので、この点では実験の応力状態は実際とは異なる。しかしながら、接合部の設計で問題となるのは、床版から斜材に流れる力の伝達に関してであり、従って、この点で実験の荷重状態は明瞭であり、目的に適っている。

3. 使用材料

3.1 コンクリート

試験体の製作には早強ポルトランドセメント（JIS R 5210）を用いた。設計基準強度は400kgf/cm²である。試験体2では、鋼管斜材にモルタルを充填したが、設計基準強度は600kgf/cm²とした。

材料試験としては各種のものをを行ったが、ここでは圧縮強度試験（JIS A 1108）と引張強度試験（JIS A 1113）の結果についてのみ記す。圧縮強度試験に際しては、供試体にひずみゲージを貼付してヤング係数も求めた。表-1に試験結果を示す。これらの値はいずれも各3供試体の平均値である。なお、圧縮強度試験、引張強度試験のいずれも載荷実験時に合わせて行った。

表-1 コンクリートの強度とヤング係数（材令12日）

圧縮強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 (kgf/cm ²)
436	28	3.04 x 10 ⁶

3.2 鉄筋

試験体に使用した鉄筋は、JIS G 3112 に適合する、SD345 の異形鉄筋である。

3.3 鋼板と鋼管

逆T形の鋼接合部材に用いた鋼板はSS400材であり、斜材に用いた鋼管はSTK400材（φ114.3）である。

4. 測定項目

測定は、試験体の鉛直・水平変位および試験体各部のひずみに着目して行った。各試験体それぞれについて、変位は鉛直方向に3カ所、水平方向に7カ所で測定した。

ひずみは、コンクリートについては、表面で10カ所、内部で2カ所ゲージを配置して測定した。コンクリート内部の鉄筋についても5カ所でひずみ測定を行った。逆T形の鋼接合部材については、リブに2枚、底板に1枚水平方向のひずみゲージを貼付した。鋼管斜材については、2断面に4枚づつそれぞれゲージを配置した。

5. 実験結果

試験体1では5tf刻みで荷重を増加させた。途中一度、設計荷重相当の40tfで除荷を行い、その後、最大荷重に達するまで荷重を加えた。試験体2では10tf刻みとした。除荷は設計荷重の2倍相当の80tfで一度行ったが、前にも述べたように、145tfの荷重で当初の実験装置の能力一杯となったため、ここでもう一度完全に除荷を行い、別の実験装置に移して、最大荷重まで載荷した。

5.1 最大荷重

各試験体の最大荷重は、表-2に示す通りである。試験体2の最大荷重は試験体1の約2倍となっている。試験体1はもとより、試験体2でも、予想に反して、破壊は接合部で起こらなかった。従って、接合部の耐力を今回の実験から知ることはできなかったが、設計値に対して十分な安全性を有していることは確認できた。

表-2 各試験体の最大荷重

試験体	試験体1	試験体2
最大荷重 (tf)	90	190

試験体1では、最大荷重に達したときに、圧縮を受ける斜材に貼付したゲージの一つに軸方向ひずみの急激な増加が見られ、鋼材の降伏が生じたことが認められた（図-4）。この時の軸圧縮応力は約3000kgf/cm²であり、引張側斜材の応力もほぼ同じ値であった。試験体2では、最大荷重に達したときに、圧縮側と引張側の斜材のゲージの多くに急激な軸方向ひずみの増加が見られ、それと同時に、圧縮側斜材のゲージの一つに圧縮から引張へのひずみの逆転が認められた（図-5）。鋼材の降伏に伴い、座屈が生じたものと考えられる。この時の、軸方向応力は圧縮、引張とも約3000kgf/cm²で試験体1とほぼ同じであった。

なお、圧縮斜材を一端固定・一端ピン支持された柱と仮定すると、細長比パラメータは、両試験体とも0.45前後となる。従って、座屈よりも降伏の方が先に起こるこ

とは十分考えられ、実際の破壊状況とも整合している。

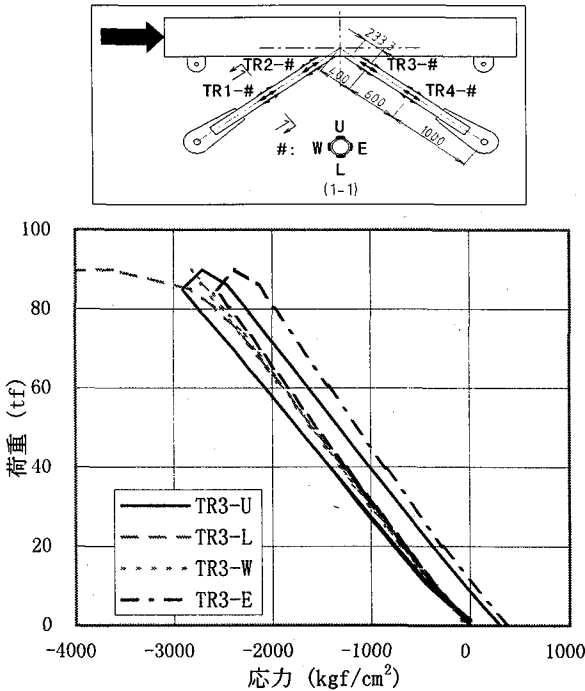


図-4 圧縮側斜材の軸方向応力（試験体1）

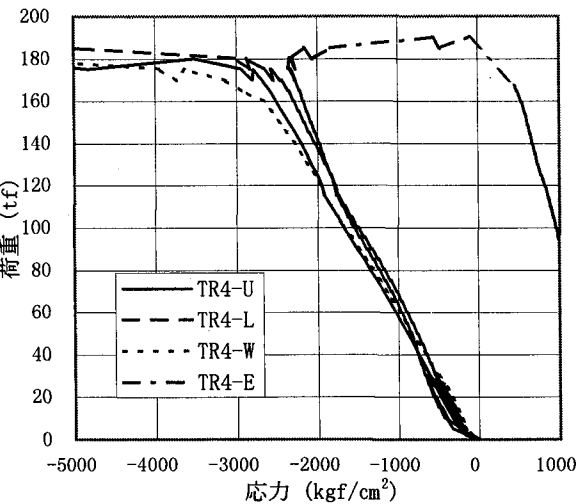


図-5 圧縮側斜材の軸方向応力（試験体2）

5.2 接合部のずれ

接合部のずれは直接測定することができなかったため、鋼接合部材の下面とコンクリート床版の先端に配置した、水平方向変位計の値の差として求めた。この場合、非載荷側の半分のコンクリート床版の変形の影響が含まれることになるが、この変形は小さく無視できるものと考えられるので、近似的に接合部のずれを知ることができる。このようにして求めた接合部のずれと荷重の関係を示したのが、図-6である。両試験体とも荷重10tf前後までに、いくらかのずれが生じているように見えるが、これは実際にずれたということではなく、試験体と治具とのなじみに起因する誤差と考えられる。それ以降についても、ずれはほとんど生じていないことが分かる。

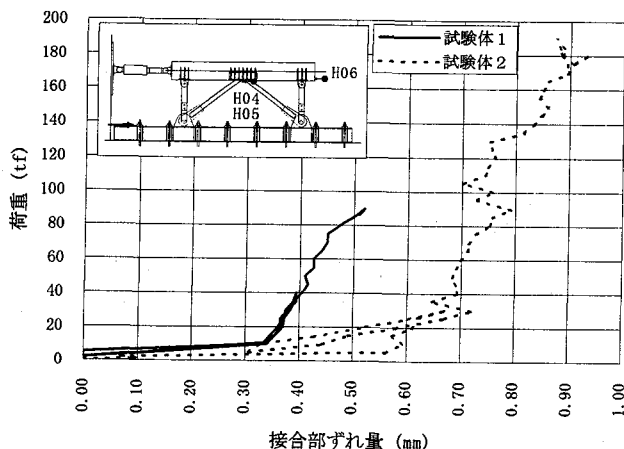


図-6 接合部のずれ

5.3 ひび割れ

試験体1では、最大荷重に至るまで、ひび割れは認められなかった。図-7に試験体2のコンクリート下面に生じたひび割れを示す。ひび割れは荷重95tfで最初に観察されたが、その後著しい伸展はなく、終了時でひび割れ幅は0.04mm程度であった。このことから、接合部は最大荷重に至るまで、健全であったことが分かる。

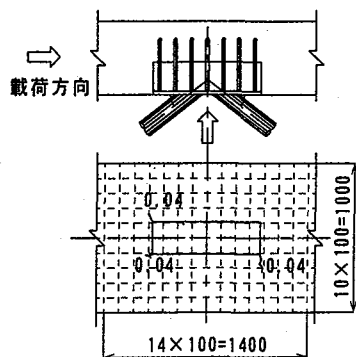


図-7 接合部下面のひび割れ(試験体2)

5.4 試験体各部の応力

既に述べたように、試験体各部にゲージを配置し、ひずみを測定した。測定されたひずみにヤング係数を乗じて応力を求めた。ひずみと応力が比例しない領域では、この換算は正しくないが、ひずみより応力の方が考え易いので、応力表示することにした。結果については、FEM解析の結果と合わせて、後で考察する。

6. FEM解析

接合部の設計に際しては、力の流れあるいは応力状態を把握することが極めて重要である。今回の実験でも、ひずみゲージ等により接合部の応力状態を知るように努めている。しかしながら、応力変化の著しいところであり、測定のみからでは応力状態を十分に知ることは難しい。そのため、FEMによる解析を行った。ひび割れの影響、材料の非線形性、コンクリートと鋼部材の間のず

れ等は考慮していないので適用範囲は限られるが、有用な知見は得られるものと考えている。

6.1 解析モデル

NASTRANを用いて、試験体1と2についてそれぞれFEM弾性解析を行った。幅方向に関して対称性があるので、全体の1/2を解析対象とした。要素分割の様子を図-8に示す。コンクリートと逆T形の鋼接合部材にはソリッド要素、鋼管斜材にはシェル要素、逆U形鉄筋にははり要素を用いた。コンクリートと鉄筋あるいは鋼板は完全に一体となっていると仮定した。なお、試験体2では、鋼管に貼付したひずみゲージの測定値より、中に注入したモルタルはほとんど力を分担していないことが判明したので、解析ではモルタルの影響は無視した。

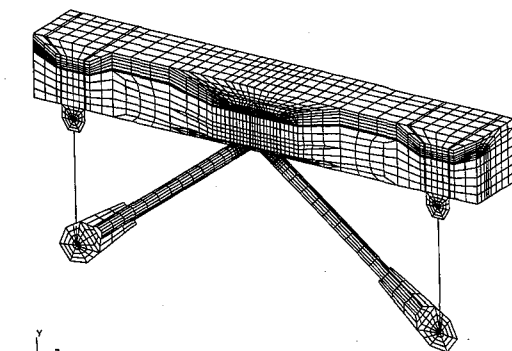


図-8 FEM解析モデル

6.2 解析結果

解析は試験体1の設計荷重の約2倍で、最大荷重に近い $P=80\text{tf}$ に対して行った。解析結果については実験結果と合わせて7節で考察する。なお、鋼管斜材の応力が1/2になることを除いて、試験体2の解析結果は試験体1とほとんど相違しない。

7. 考 察

7.1 接合部の応力状態についての概観

実験結果と解析結果について検討する前に、接合部の応力状態について概観しておく。

今回のように構造系が左右対称の場合、材料の非線形性が強くない領域では、図-9に示すような2つの荷重状態に分けて考えるのが理解し易い。前者は対称の、後者は逆対称の荷重状態である。対称荷重状態については力の流れは明瞭であり、コンクリート床版から斜材への力の流れは無いと考えてよい。コンクリート床版に生じる軸方向圧縮応力は載荷点近傍を除いてほぼ一定で、平均的に以下の式で求められる。

$$\sigma_1 = P/2/A \quad (1)$$

ここで、 A はコンクリート床版の断面積である。ただし、接合部では逆T形の鋼接合部材が存在するので、僅かで

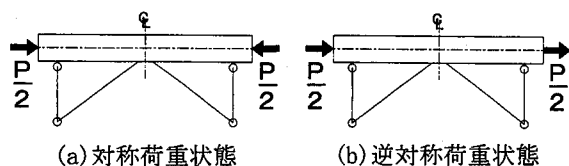


図-9 対称荷重状態と逆対称荷重状態

はあるが、局所的に応力の集中が生じる。

一方、逆対称荷重状態では、図-9 (b) から分かるように、コンクリート床版から斜材へ力の伝達が生じる。この荷重状態が重要であり、力の伝達は接合部を介して行われるので、接合部に複雑な応力状態を引き起こす。

このような複雑な応力状態を検討する上で、コンクリート断面全体に作用する断面力を知っておくことは大切である。そこで、コンクリート床版をはりと仮定して軸力、せん断力、曲げモーメントを求めた。結果を図-10に示す。なお、この場合、斜材の曲げ剛性は小さいので無視し、また、斜材の軸力は等分布水平荷重と等分布鉛直荷重として、はりの下面に作用させている。作用荷重は、FEM解析と一致させて、 $P=80\text{tf}$ とした。

接合部に生じている大きなせん断力は、両トラス部材軸力の鉛直成分に起因するものであり、実橋の設計では逆T形の鋼接合部材のみで抵抗すると考えている。しかしながら、実際にはこのせん断力の伝達にはコンクリートも関与しており、そのため対称軸より左側では、鋼接合部材とコンクリートの間に鉛直方向の引張力が作用する。実橋の設計ではこのような力の流れは期待していないとはいえ、実際にコンクリートと鋼接合部材の間に大きな剥離が生じることは好ましくないので、逆U形鉄筋によりこの引張力に抵抗するように配慮している。

曲げモーメントについては、中央部で生じているのは、上記のせん断力の伝達に伴うものであり、その両外側で

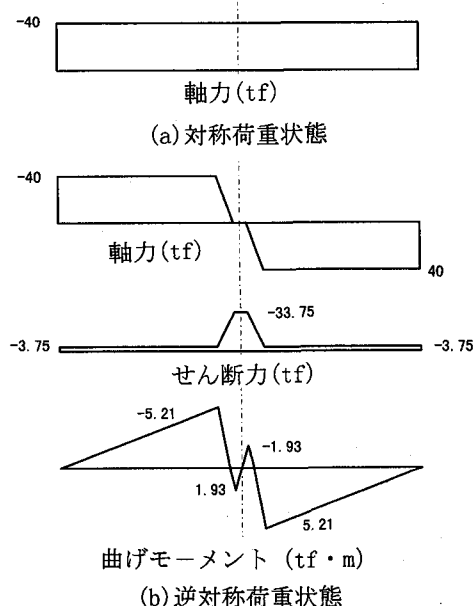


図-10 コンクリートに作用する断面力 ($P=80\text{tf}$)

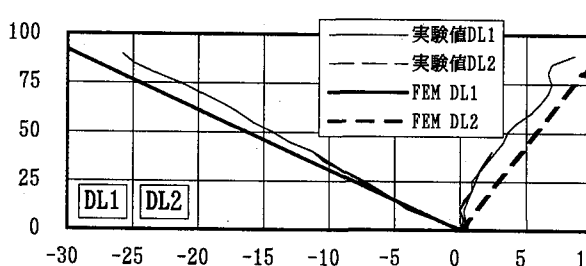
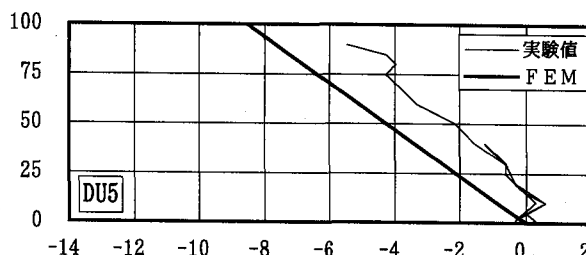
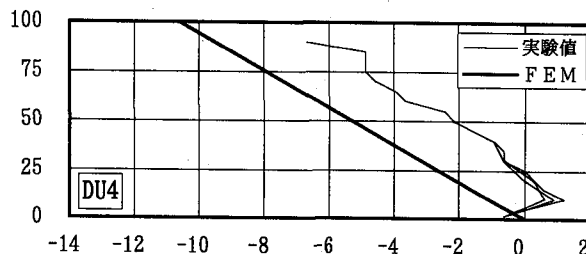
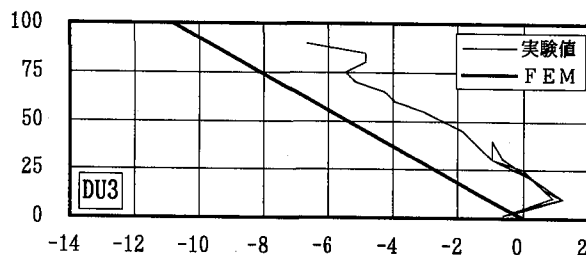
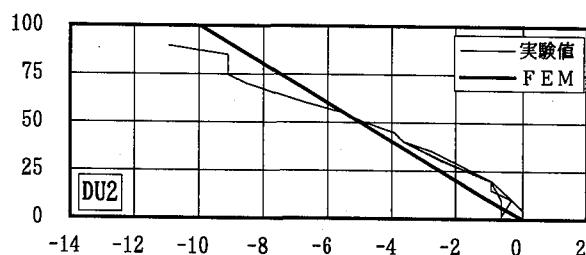
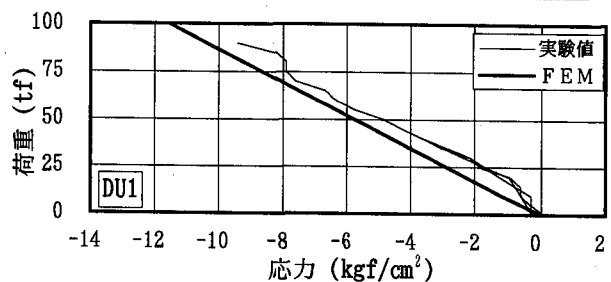
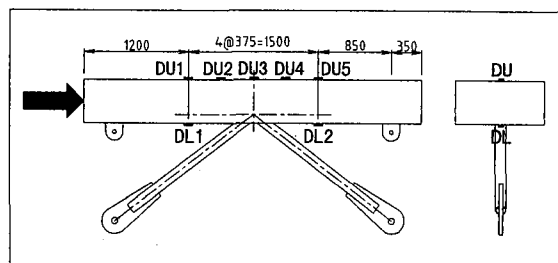


図-11 コンクリートの軸方向応力

生じているのは、作用荷重と斜材軸力の水平成分との偏心に起因するものである。前者の曲げモーメントについても、実橋の設計では鋼接合部材のみで抵抗するものと考えている。

軸力は左半分では $P/2$ の圧縮力であり、右半分では $P/2$ の引張力となる。従って、断面に作用する軸応力は、平均的には左半分では σ_1 の圧縮で、右半分では σ_1 の引張ということになる。しかしながら、接合部では、平面保持の法則は当然成り立たず、応力集中が局所的に起こる。さらに、重要なことは、作用荷重から斜材軸力への力の伝達に際して、水平方向のせん断力が生じることである。これに関して最も問題となるのは、コンクリートから鋼接合部材へのせん断力の伝達であり、設計では逆U形鉄筋により確実に力が伝わるようにした。

7.2 コンクリートの軸方向応力

図-11に、試験体1のコンクリート床版の上面と下面の軸方向応力と荷重の関係について、実験値とFEM解析値を比較して示す。図から実験値と解析値は良く一致していることが分かる。ここでは省略するが、側面に設けた他の測点あるいは試験体2についても、一般に、コンクリート応力の実験値と解析値は、最大荷重に至るまで比較的良く合っていた。

図-12はFEM解析より得られたコンクリート床版の上面と下面中央の軸方向応力の変化を示している。作用荷重は、 $P=80\text{tf}$ である。図には、軸力と曲げモーメントを受けるはりとして求めた軸方向応力も記入してある。当然であるが、接合部ではFEM解析とは解析の結果は一致しなくなる。局所的な応力集中が生じているからである。このような応力集中の生じる範囲は、図から、鋼接合部材の端部より375mm、接合部中心より750mm程度となっている。コンクリート床版の幅の $1/2$ および高さは共に500mmであるから、端部より375mmというのはかなり短いと言える。

コンクリート床版の軸方向応力の圧縮と引張の最大値

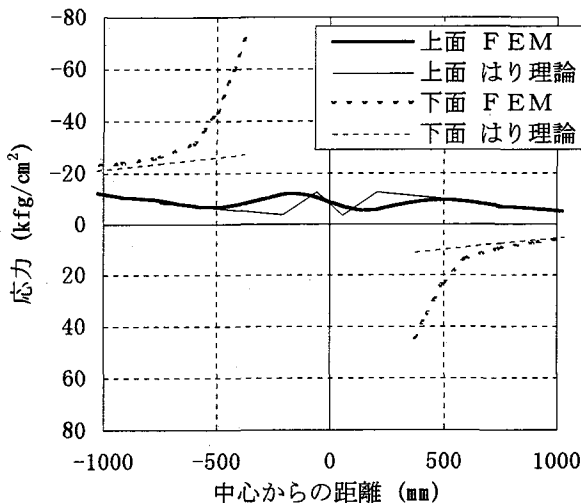


図-12 コンクリートの軸方向応力の変化 ($P=80\text{tf}$)

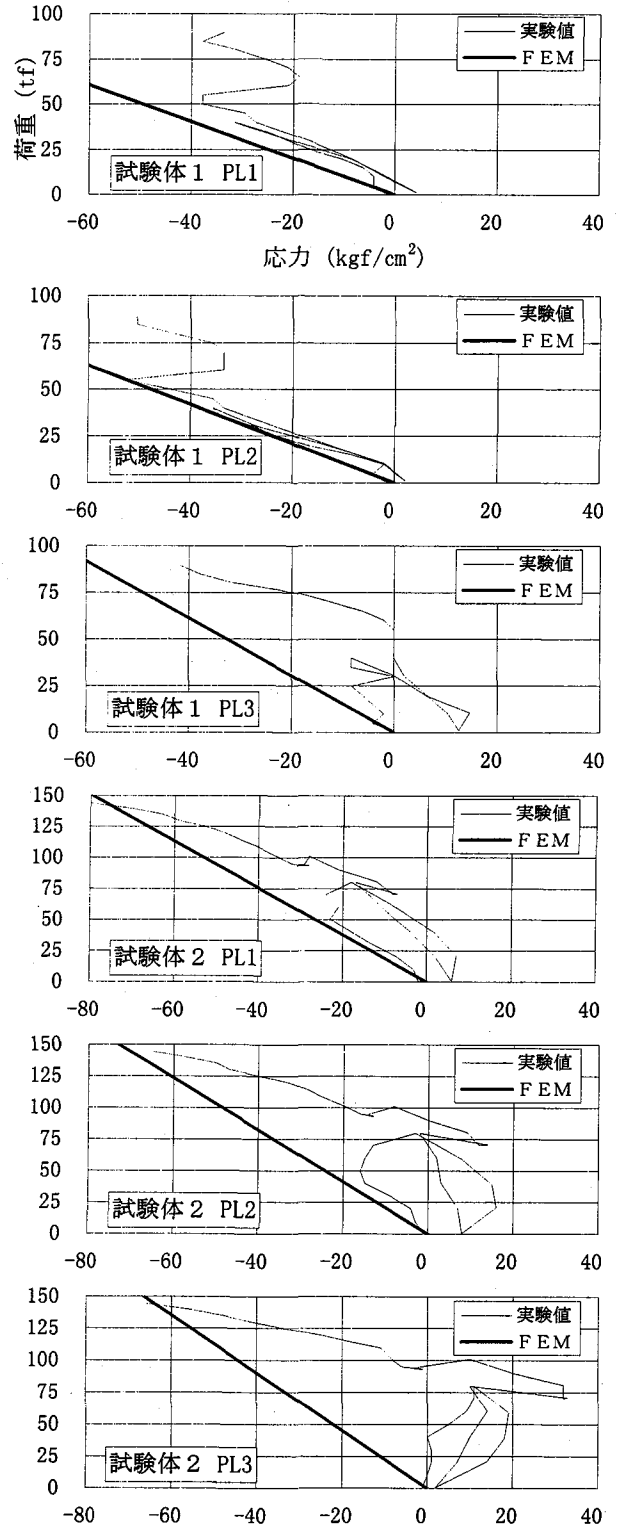
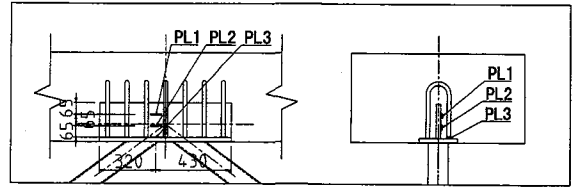


図-13 鋼接合部材の軸方向応力

は、それぞれ逆T形の鋼接合部材の端面と接する位置で生じる。ここでは、応力はかなり急激な変化をするので、正確な値を求めることは難しいが、今回のFEM解析より得られた値は、左側端面で -70kgf/cm^2 の圧縮応力、右側端面で 45kgf/cm^2 程の引張応力であった。対称荷重成分と逆対称荷重成分に分離すると、前者は -12.5kgf/cm^2 、後者は $\pm 57.5\text{kgf/cm}^2$ ということになる。はり理論で求めた値は、前者に対して -8.0kgf/cm^2 、後者に対して $\pm 18\text{kgf/cm}^2$ であるから、当然のことながら、逆対称荷重状態で大きな応力集中が生じていることが分かる。なお、試験体2の接合部右端の角で生じたひび割れ（図-7参照）は、上述の引張応力が関係していると考えられる。ただし、実際のトラス格点部では、一般に、軸方向圧縮力の一部のみが斜材へ流れ、残りの軸方向圧縮力（ここでいう対称荷重状態に相当する）により圧縮応力が加わるので、引張応力が生じるのは限られた場合のみである。

7.3 鋼接合部材の軸方向応力

図-13に、逆T形の鋼接合部材の軸方向応力と荷重の関係について、実験値とFEM解析値を比較して示す。試験体1と2の実験結果で共通のこととして、リブ（測点PL1とPL2）の圧縮応力は当初は荷重にほぼ比例して増加し、解析結果とも良く合っているが、50tf前後で一度減少することが挙げられる。その後、また、応力は増加に転じる。応力が一度減少するのは、ここでコンクリートと鋼部材の付着が切れ、鋼部材の圧縮応力が解放されたことによる可能性が高い。その後、増加するのは付着とは別の機構、例えば、逆U形鉄筋を介した力の伝達、あるいは、逆T形部材端面の支圧による力の伝達など、により、再び、コンクリートから鋼部材へ力が流れるようになったためと推測される。

実験から得られた、底板（測点PL3）の応力変化は、試験体2ではリブと比較的似ているが、試験体1ではかなり異なっている。底板には鋼管や逆U形鉄筋が溶接されており、これらの部材からの力を直接受けるため応力の変化が大きく、僅かなことで値が動く可能性がある。そのため、実験結果がややばらついたものと考えられる。

図-14は、FEM解析より得られた底板の下面中央線に沿う軸方向応力の変化を示している。下面には鋼管が溶接されており、大きな力が伝達されるので、局所的に大きな、軸圧縮応力と軸引張応力が生じている。

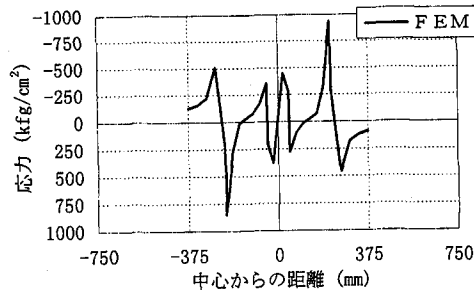


図-14 鋼接合部材下面の軸方向応力の変化 (P=80tf)

7.4 セン断応力

接合部には、鉛直せん断力と水平せん断力により、それぞれせん断応力 τ_{xy} と τ_{yx} が生じる。前者は軸方向力の伝達に伴うものであり、後者は鋼管トラス軸力の鉛直成分の伝達に起因するものである。せん断応力は直交する面上で対になって存在するので、上記の二つのせん断応力 τ_{xy} と τ_{yx} は互いに加え合わせられるような同種の応力であると言える。

せん断応力を測定することはしていないので、ここではFEMの解析結果を用いて検討する。図-15は、逆T形の鋼接合部材とそれに接するコンクリートのせん断応力の分布を示したものである。作用荷重は $P=80\text{tf}$ である。

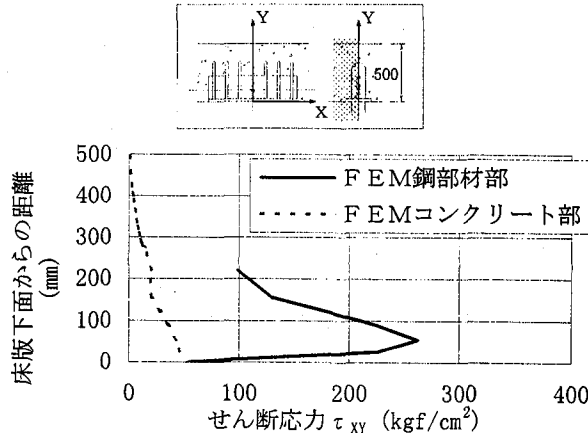


図-15 接合部のせん断応力分布 (P=80tf)

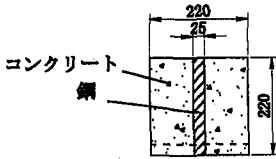


図-16 鉛直せん断力に対する有効断面

前述のように、このせん断応力には2種類の応力が含まれている。まず、鉛直せん断力によるものについてであるが、これは互いに値が等しく方向が逆である二つの斜材軸力の鉛直成分の伝達に関係している。両斜材は鋼接合部材に溶接されて一体となっているので、鋼接合部材がこのせん断力に耐えられれば問題はない。しかしながら、実際はとも角として解析上では、コンクリートもこの力の伝達に寄与していることは、図-15から明らかである。今、簡易的な方法として、図-16に示すような断面を有効断面としてせん断応力の計算を行うと、最大値は下面から11cmの所で生じ、鋼では 387kgf/cm^2 で、コンクリートでは 55kgf/cm^2 程になる。底板とコンクリートの境界（下面から2.5cm上方）では、それぞれ 156kgf/cm^2 と 22kgf/cm^2 である。

一方、水平せん断力は、作用荷重が斜材の水平成分として伝達される際に接合部に生じるものである。特に、コンクリートと逆T形の鋼接合部材との間に生じるせん断応力が重要である。今、作用荷重を $P=80\text{tf}$ として簡易

的な方法でこのせん断応力を求める。すなわち、下面から2.5cmの位置にある鋼接合部材の底板とコンクリートの境界面で水平方向に切断し、図-17に示すような断面を用いて平均的なせん断応力を求めると、鋼で202kgf/cm²、コンクリートで29kgf/cm²の値が得られる。このせん断応力は、接合部から離れるに従って急激に減少すると考えられる。

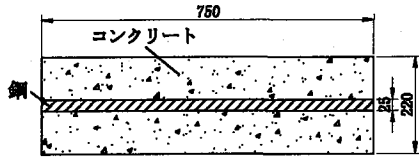


図-17 水平せん断力に対する有効断面

前述したように、鉛直せん断力と水平せん断力によるせん断応力は加え合わせられるが、後者は鉛直方向に急激に減少すると考えられる。しかしながら、逆T形の鋼接合部材の底板とコンクリートの境界面におけるせん断応力については足し合わせる必要があり、簡易的な方法では、鋼に対して358kgf/cm²、コンクリートに対して51kgf/cm²となる。FEM解析では、図-15から、前者に対して230kgf/cm²、後者に対して45kgf/cm²程度であり、簡易的な方法で求めた値と大きくは相違しない。

8. 接合部の設計に対する考え方

本研究で対象とした接合部について、設計の考え方について簡単に触れておく。接合部の設計で問題となる点は幾つかある。まず、第一に、コンクリート床版に生じる軸方向の圧縮応力である。接合部では応力集中により、局所的にかなり大きな軸方向圧縮応力が生じる。局所的なものであることから、応力照査に際して、そのまま考慮する必要はないし、また、FEM解析を利用したとしても正確な値を求めること自体かなり難しい。このような局所的な応力集中に対してどのように設計するかは、ここだけの問題ではなく、今後の検討課題である。

鋼接合部材には、鋼斜材軸力の水平成分が軸力として、また、鉛直成分がせん断力として作用する。鉛直せん断力の伝達に伴い曲げモーメントも生じる。これらの力に対して実際にはコンクリートも共働すると考えられるが、実橋の設計では全て鋼接合部材で抵抗するとした。この考え方は、安全側であるが、鉛直せん断力とそれに伴う曲げモーメントについては、図-16に示すような、合成断面を用いて応力照査することも考えられる。この場合、コンクリートの分担するせん断力分の引張力が、鋼接合部材の片側半分の底板とコンクリートとの間で生じるが、これは逆U形鉄筋で確実に取らせる必要がある。

接合部には大きな水平せん断力も作用する。コンクリートと鋼接合部材との間の付着を期待して設計することはできないので、これについても逆U形鉄筋で確実に伝達させる必要がある。結局、逆U形鉄筋には引張応力と

せん断応力が作用することになるが、両者に対してどのような照査を行えば良いかは今後の検討課題である。

9. まとめ

本研究では、実橋に使用された鋼管トラス斜材とコンクリート床版の接合部を対象として実験およびFEM解析を行い、その静的性状について検討を行った。本実験および解析の範囲内では、本接合部の静的耐荷力については特に問題は認められず、設計荷重に対しても十分安全であることが分かった。この他、実験および解析から種々の興味ある結果が得られたが、主要な点をまとめると以下ようになる。

- ①実橋を再現した試験体1および鋼管トラス斜材を補強した試験体2とも、最大荷重は鋼管の降伏により決定されていた。接合部の破壊は生じなかった。
- ②鋼接合部材とコンクリートとの間には巨視的にはほとんどずれは認められなかったが、ひずみ測定結果より、鋼接合部材とコンクリートとの間の付着はある荷重に達すると切れていた可能性がある。
- ③試験体2では、接合部のコンクリート下面に微小なひび割れが観察されたが、特に問題となるようなものではなかった。
- ④ひび割れやコンクリートと鋼部材のずれ、あるいは材料の非線形性が大きく影響する場合を除き、実験結果とFEM解析結果は比較的良好に合っていた。
- ⑤はりとしての解析とFEM解析とでコンクリートの軸方向応力の値が異なるのは、接合部中心から左右約750mmの間である。ここでは、特に断面下方で、局所的な応力の乱れが生じているが、応力集中の分散は比較的速やかである。

今後の課題としては以下のような項目が挙げられる。

- ①他の荷重、例えば鉛直荷重、に対する応力状態。
- ②接合部の合理的な設計法の確立。
- ③疲労強度の検討。

謝辞：実験に際して、第1著者の研究室に所属する大学院と学部学生および第3・第4著者の所属する会社の関係各位の多大な助力を得た。謝意を表するものである。

参考文献

- 1) (財) 高速道路調査会：橋梁の単純化に関する調査検討報告書、1993
- 2) 山縣敬二：日本道路公団における橋梁の合成・複合構造、第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集、pp.7-12、1995
- 3) 春日昭夫、益子博志、杉村悟：SBSリンクウエイ橋の設計と施工、橋梁と基礎、No.7、pp.2-8、1997

(1998年9月18日 受付)