

連続合成桁中間支点部の合理的設計法の開発

建設構造研究室 扇山大輔
指導教官 長井正嗣
岩崎英治

1. はじめに

現在、わが国では、鋼桁の合理化、省力化による一層の経済性と高い耐久性の同時達成が強く求められるようになり、高い耐久性をもった床版の使用を前提に、ひび割れ制御設計を導入した連続合成2主桁橋の建設が多くなりつつある。それに伴って「日本橋梁建設協会」(以後、橋建)や「高速道路技術センター」(以後、センタ-)から設計計算法や設計・施工マニュアルが近年公表された¹⁾²⁾。しかし、同じ橋梁形式を対象としているにも関わらず、両者の設計法には違いが見られる。

両者の設計法を整理すると、まず、中間支点部の設計曲げモーメントの評価法に違いが見られる。センタ-方式では、梁理論を使用している。一方、橋建方式では、道路橋示方書・コンクリート橋編³⁾(以後、道示)に準じて、梁理論から求めた曲げモーメントを低減させている。しかし、道示の基準は、コンクリート橋を対象としたもので、鋼橋への適用性については、具体的な検討報告もなく、明確ではない。本研究ではFEM立体解析から、どちらがより実際の挙動を再現しているかについて検討を行う。

次に、中間支点部でのひび割れ幅算定用の鉄筋応力の評価法に違いが見られる。橋建方式では、コンクリートを無視した「鋼桁+鉄筋」断面を用いて応力を評価している。一方、センタ-方式は、コンクリートの引張剛性(tension stiffening効果)を考慮した平均応力を用いる。中間支点部の鉄筋応力は、コンクリートのひび割れ状態の仮定方法により評価が変わることになる。本研究では、

ひび割れを考慮した立体FEM解析を行い、実際に近い状態での検討を行う。

最後に、ひび割れ状態での有効幅は橋建方式、センタ-方式共に、道路橋示方書・鋼橋編⁴⁾(以後、道示)の基準を用いているが、道示の基準は弾性状態を前提としているため、ひび割れ状態での有効幅の基準は存在しない。そこで、先と同様のひび割れを考慮した立体FEM解析から有効幅の定義方法について、ひび割れ状態、終局限界状態を対象に検討を行う。

2. 解析モデルおよび荷重載荷方法

本研究で対象とした橋梁は、図-1に示すように、スパン50mの2径間連続合成桁橋である。解析では、鋼桁の中間支点部両側10m区間を対象としているが、モデルの対称性から支点位置に対称境界条件を用い、片側10m区間のみモデル化した。荷重は各モデルの左端部に鉛直荷重を作用させて、中間支点部に負曲げモーメントを発生させている。

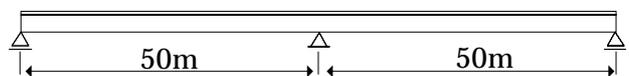


図-1 対象橋梁

2.1 鋼桁モデル

図-2に鋼桁モデル、図-3にFEM解析モデルを示す。鋼桁の寸法は先ほど説明した「橋建」の解析モデルと同じものを使用した。また、鋼桁(上下フランジ、腹板、補剛材)は全て4節点シェル要素でモデル化した。

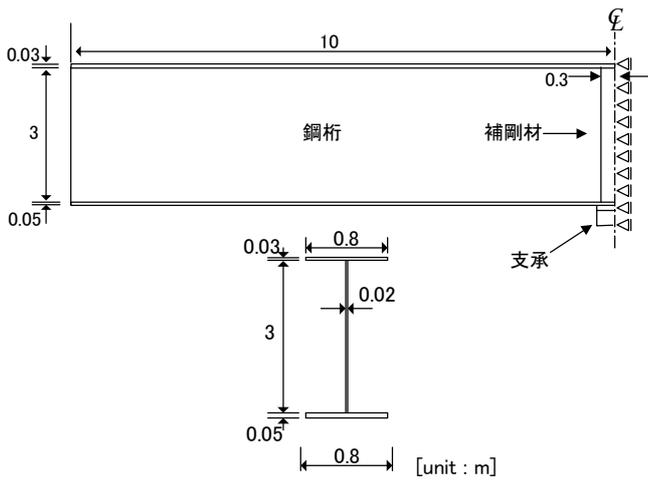


図-2 鋼桁モデル

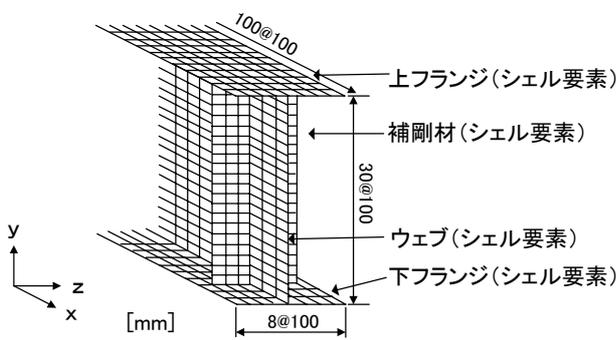


図-3 FEM 解析モデル

2.2 合成桁モデル

図-4 に合成桁モデル，図-5 に FEM 解析モデルを示す．床版は 8 節点ソリッド要素、鉄筋を埋め込み鉄筋要素でモデル化した．なお，本モデルの鉄筋比は 2 % である．

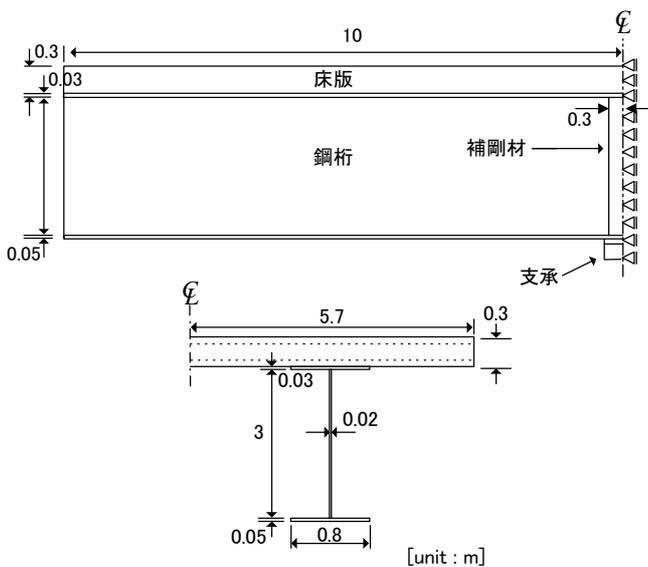


図-4 合成桁モデル

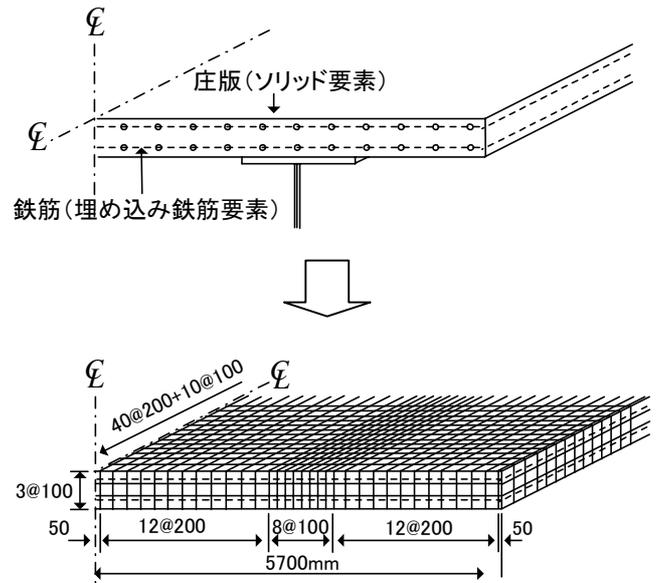


図-5 FEM 解析モデル

2.3 ゴム支承

支承は阪神大震災以来一般的になっているゴム支承を用いる．ゴム支承は「橋建」の計算モデルにあわせて，6000kN 用のものを使用する．図-6 に支承モデル，図-7 に FEM 解析モデルを示す．ゴム支承は 8 節点ソリッド要素でモデル化した．また，鋼板とゴムが交互に重なる構造を等価な弾性体として弾性係数 E^* を(1)式を用いた．

$$E^* = \frac{\sum t_i \times E_c + \sum t_{si} \times E_s}{\sum t_i + \sum t_{si}} \quad (1)$$

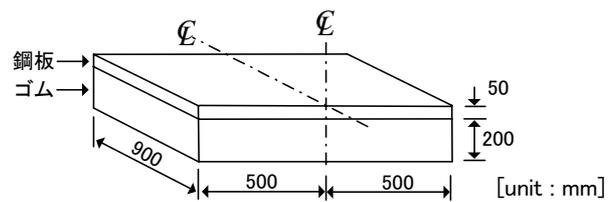


図-6 ゴム支承モデル

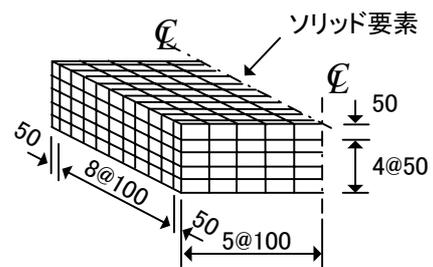
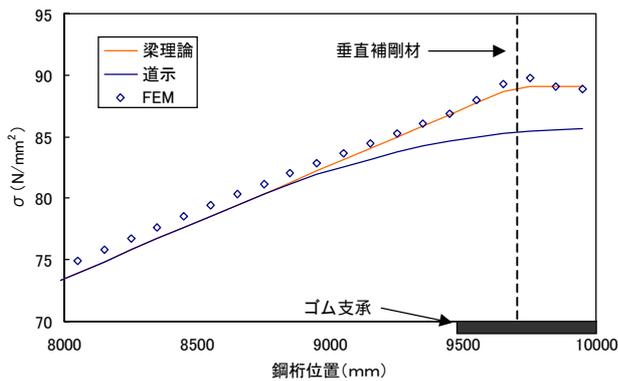


図-7 FEM 解析モデル

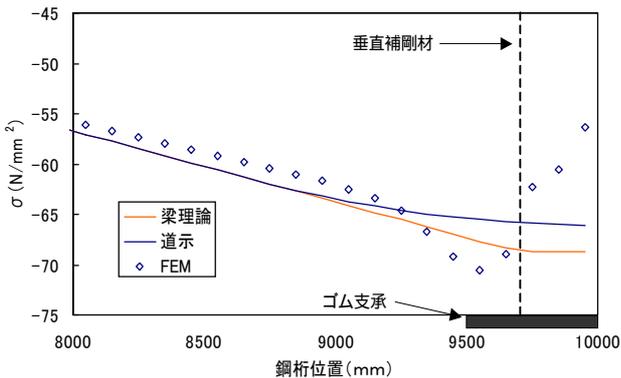
3. 解析結果

鋼桁に鋼桁重量とコンクリート重量，すなわち前死荷重が作用したときの応力分布を図-8 に示す．縦軸は応力を，横軸はモデル左端からの距離を示している．同図より，上フランジでは，梁理論と FEM の応力は近い値を示し，「橋建」方式は補剛材付近で応力を過小評価していることがわかる．また，FEM 解より，最大応力は垂直補剛材付近で発生している．

下フランジでは，支承位置で応力集中が生じ，応力が最大となるが，梁理論で評価する方が FEM 解に近いと言える．また，支承付近で応力が低下しているのは，ゴム支承が力を受け持つためと考えられる．



(a) 上フランジ(ウェブ位置)

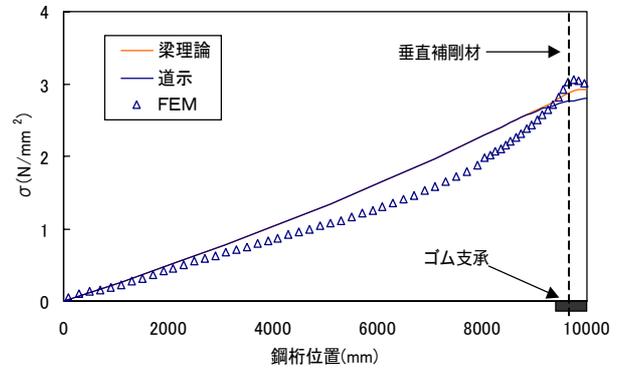


(b) 下フランジ(ウェブ位置)

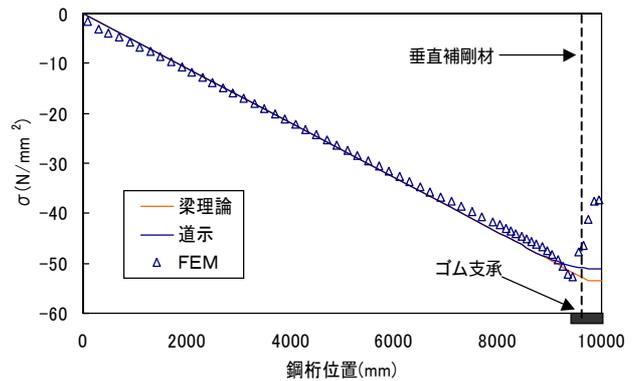
図-8 鋼桁の応力

図-9 に合成桁の応力分布を示す．床版はひび割れないと仮定している．図の表示方法は，図-8 と

同様である．同図から床版上部，下フランジともに梁理論で評価するほうが，FEM 解と近いと言える．床版上部の 4000mm から 6000mm の辺りで梁理論・道示 の応力と FEM 解が異なるのは，有効幅の評価に違いがあるためと考える．



(a) 床版上部(ウェブ直上)

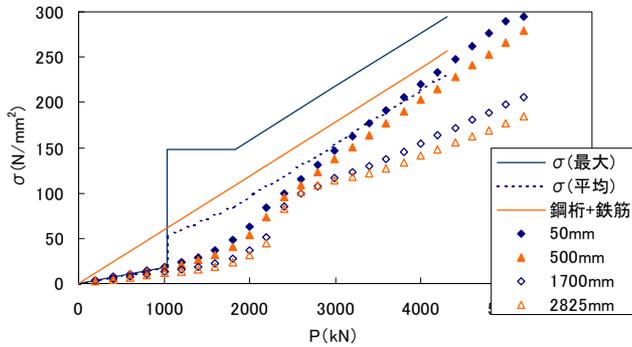


(b) 下フランジ(ウェブ位置)

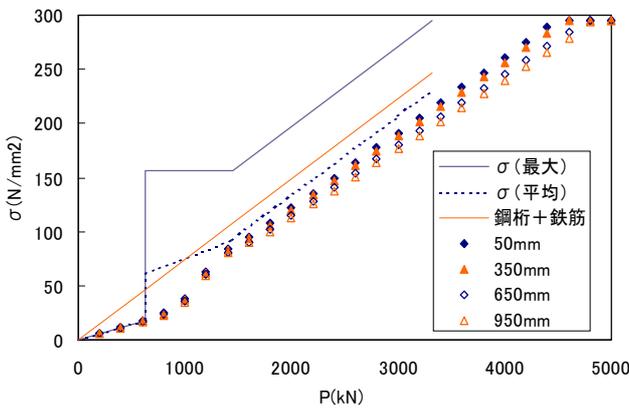
図-9 合成桁の応力

図-10 にひび割れ状態における，鉄筋応力(上段) - 作用荷重関係を示す．縦軸は応力を，横軸は作用荷重を示している．また，鉄筋の最大，平均応力，「鋼桁+鉄筋」断面の応力の算定に当っては，道示 の有効幅を利用している．同図より，初期ひび割れ時から安定ひび割れ移行時にかけて，FEM 解は平均応力より小さくなり，安定ひび割れ状態をすぎると，FEM 解が計算した平均応力に近づいていくのがわかる．この理由としては，安定ひび割れ移行荷重では，ひび割れは全体的に広がっているが，床版は完全に剛性を失うわけではいためと考えられる．幅員 2m のモデルは，幅

が狭いため FEM 解にばらつきは小さくなる。また、ウェブ位置でのひび割れが最も大きく、応力も大きくなっていますが道示の有効幅を用いた平均応力は安全側の評価となる。



(a) 幅員 5.7m モデル



(b) 幅員 2m モデル

図-10 鉄筋応力(上段) - 荷重関係

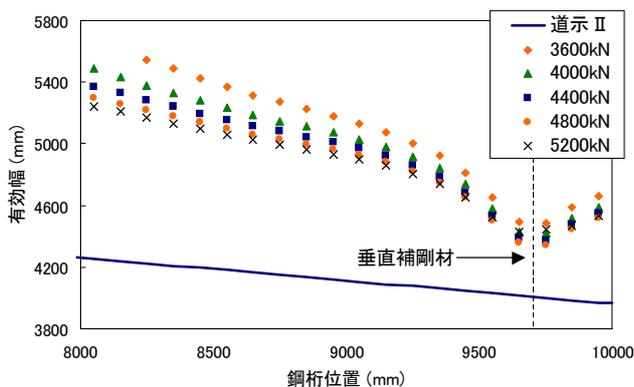


図-11 荷重変化による有効幅の比較

図-11 に各荷重レベルにおける床版の有効幅を示す。縦軸は有効幅を、横軸はモデル左端からの

距離を示す。この荷重レベルでは、床版は安定ひび割れ状態にある。同図より、鉄筋応力が最大となる補剛材付近で有効幅が最も狭くなる。鉄筋降伏荷重の約 4500kN での有効幅は道示の基準よりも大きくなっている。

4. 結論

本研究で得られた結論は以下のとおりである。

- ・鋼桁橋梁の中間支点部曲げモーメントの算定は、梁理論に準じるのが妥当。道示を採用した「橋建」方式は、部分的に応力を過小評価する。
- ・ひび割れ状態を対象とした FEM 解析による鉄筋応力は平均応力以下となり、「センター」方式の平均応力を使用するのが妥当である。
- ・ひび割れ時の平均応力の算定に当たり、FEM 解析から得られる有効幅は広がったが、安全側の立場から床版の有効幅として道示の基準を用いてもよい。
- ・終局限界時の桁の抵抗モーメント算定に当たり、有効幅は広く取れる。ただし、定量的な考察は今後の検討課題となった。

参考文献

- 1) (社)日本橋梁建設協会：PC 床版を有するプレストレスしない連続合成 2 主桁橋の設計例と解説，2001
- 2) (財)高速道路技術センター：PC 床版鋼連続合成 2 主桁橋の設計・施工マニュアル，2002
- 3) (社)日本道路協会：道路橋指示方書・同解説，コンクリート橋編，2002
- 4) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，鋼橋編，2002