

## 第5章 鋼I桁橋の主桁補剛システムのシンプル化に伴う力学挙動の変化

本章では、鋼橋のなかでも最も用いられることの多い鋼I桁橋を対象とし、I桁橋のロングライフ化を目標とした新しいシステムの開発を行う。橋のロングライフ化を達成する上では、疲労からの解放とともに腐食からの解放を検討する必要があるが、ここでは疲労からの解放を対象とし、ロングライフに適した橋システムの検討を行う。

鋼I桁橋の疲労は主桁とそれを補剛する分配横桁、対傾構、下横構との交差部に多く発生している。このことから、できるだけ交差部をもたないシステム、すなわち、補剛部材をできるだけ省略しシンプル化した橋システムの開発が今回の目的達成のために最も適していると考えられる。また、次世代に向かって、建設業に従事する技能労働者の不足や公共構造物の建設費の抑制が予想される中、最近、設計や製作また施工の省力化を意図した橋システムの開発が活発化している。実は、ロングライフ化を意図した上記シンプルシステムは、現状の補剛部材を省略し省力化にもつながる構造となる。すなわち、シンプル化を行うことにより、1) 疲労損傷が多くみられる主桁とその補剛部材の交差部を避けることができ、また各部位の応力状態を明確にできる、2) 部材数が低減でき設計や製作の省力化が計れる、3) 結果的にメンテナンスの容易さにもつながる、などの効果が得られ、必然的にロングライフ化の達成が期待できると考える。

しかしながら、これまで用いられてきた主桁補剛システムをシンプル化するにあたり、そのことによる橋の全体また局所的な力学挙動を明らかにしておく必要がある。つまり、シンプル化に伴い、これまでの橋システムに比べて挙動が大きく変化しないか、橋の一部の変形や応力が大きくなるかを明らかにしておく必要がある。

本章では、橋のロングライフ化を達成できるシステムの開発を目標に、補剛システムのシンプル化の可能性をFEM解析により検討した結果を報告する。本章の各節で扱われた具体的な内容と得られた結果は以下の通りである。

5. 2節では、今回対象とする主桁補剛システムの構造や設計の変遷を整理するとともに、主桁補剛部材の撤去に伴う力学挙動を検討したこれまでの研究成果を整理している。あわせ、ロングライフ化という視点でみた場合の今後の課題および本研究の位置づけをまとめている。

5. 3節では、図5.1に示す、従来の主桁補剛システムを持つ3主鋼I桁橋を対象とし、全橋をモデル化したFEM解析を行う。本節では、要素分割と精度の関係を詳細に調べ、要求する精度を得ることができる現実的な自由度の解析モデルを作成する。これを、次節で行うパラメータ解析用のモデルとして採用する。

次のようなステップでFEMモデルに関する検討を行った。(1) 計算機の容量が許す範囲で最大限精密な橋梁全体モデルを作成し、この数値解を参照解とする。(2) いくつかの概念で簡易化した簡易モデルを作成し、(1)の参照解と比較して、その妥当性を検討する。

解析対象は、計算環境の制約から小規模橋梁を対象とした。橋梁はスパン39m、

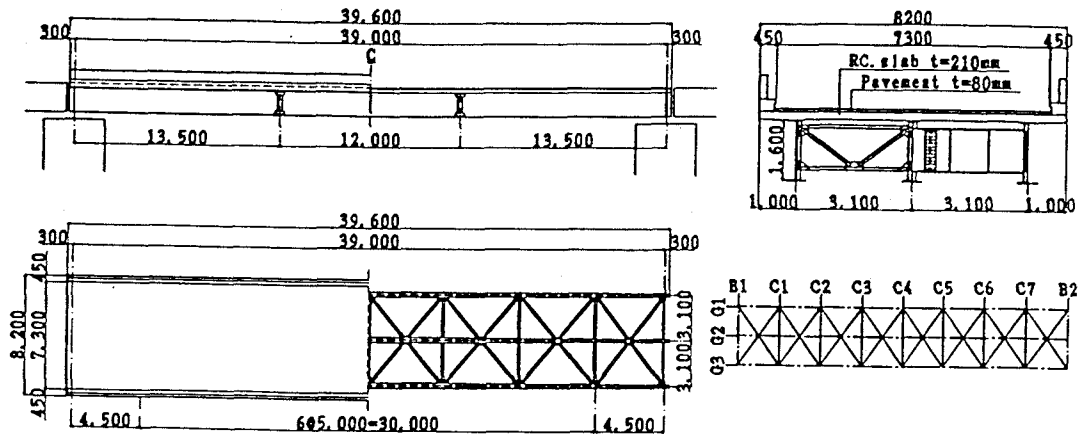


図5. 1 橋モデル

幅員7.3mの3主桁並列I桁橋とした(図5.1)。本橋はスパン中央に荷重分配横桁が配置されている。解析は、汎用有限要素コードMARC-K4, K5を用いて行った。

解析モデルは、鋼部材にすべて板殻要素を用いるR(参照)系と、対傾構などの2次部材を全て棒要素に置き換えるS(簡易)系の2つを考えた。ただし、R系およびS系の両系とも床版には20節点立体要素を用いる。さらにそれぞれについて、L形鋼とガセットプレートの材軸の偏心まで考慮するモデルと、偏心を無視したモデルとの2つを設定した。

結果の例として、各モデルにおけるC3対傾構の部材軸力を図5.2に示す。モデルR-A(2次部材も板殻要素で部材偏心考慮)については、軸力をkgf単位で示し、その他のモデルについては、R-A(参照解)との比で示した。

R-B(2次部材も板殻要素を用いるが部材偏心無視)では斜材で30~40%の差が生じている。これは隅肉溶接の偏心および板の偏心の影響を無視したことの影響の大きさを端的に示している。対傾構部材を偏心を考慮して棒要素で簡易化したS-Aの場合、

絶対値の小さい上弦材ではR-Aに対する相対誤差が大きいが、斜材、下弦材ではほぼ30%程度以内の誤差である。棒要素を用いてかつ偏心の影響を取り入れていないS-Cでは60%を越える誤差が斜材で発生している。このように、部材の偏心量を正確に考慮することの重要性が確認された。後に続く、部材除去による補剛部材撤去にともなう力学的挙動の検討にはS-Aの考え方に基づいたモデルを使用した。

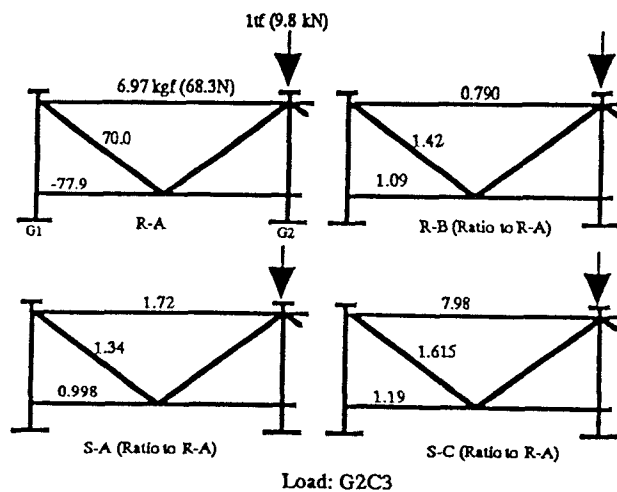


図5. 2 C3対傾構の部材軸力

5. 4節では、図5.3に示すように、既存の主桁補剛システムから下横構や中間対傾構を順次撤去し、その際の橋全体の挙動と局所挙動を調査する。全体挙動については、荷重分配性能に着目し、局所挙動については、鉛直補剛材上端部やウェブギャップ板（主桁上フランジと横桁上フランジ間に挿入されている板）の応力集中、また対傾構の部材力に着目する。この過程で、床版厚を増厚し、床版曲げ剛性の効果を明らかにする。最後に、従来システムのまま補剛部材を撤去したシンプル化システムがロングライフシステムとなりうるかを明らかにする。

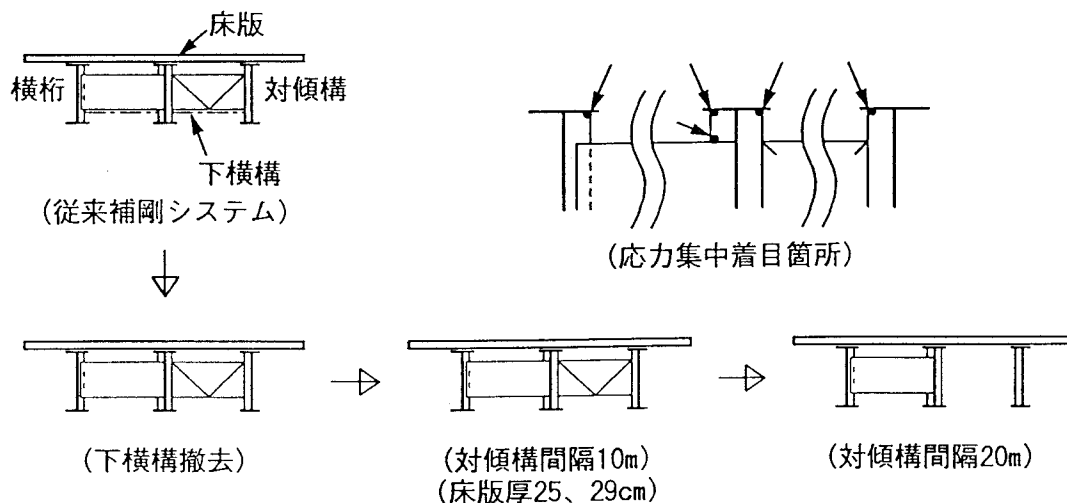


図5.3 従来補剛システムの部材撤去

本検討で得られた結果を要約すると以下のようなになる。

- 1) 下横構の撤去は、その配置方法によって程度が異なるが、荷重分配性能の低下を招く。
- 2) 局所応力（図5.3中の↓印箇所の応力集中）に着目すると、偏載荷重に対して、準閉断面としての断面変形が解放されてウェブギャップ板の応力が平滑化され、好ましい方向にある。この時、対傾構や床版厚の増厚の影響は小さい。一方、断面内中央荷重に対しては凹形の変形が大きくなって、応力集中が増大する。また、対傾構の数を少なくすると応力は漸増する傾向にある。
- 3) 種々の車両荷重を対象とする場合、ウェブギャップ板や鉛直補剛材の応力集中は、部材撤去に伴い漸増する。この応力集中低減対策として床版の増厚に着目したが、その効果が認められるものの、主桁間の荷重荷以外での効果は顕著でない。
- 4) これらより、橋システム内にウェブギャップ板を残したまま部材撤去を行う場合、応力の低減は困難が予想され、応力集中部をもたない構造詳細を選んだ上で、部材撤去を行う必要がある。

5. 5節では、従来補剛システムに対して、部材数の低減を目的に、図-5.4に示す、下横構のない、また中間対傾構を横桁に置き換えたシンプルな橋システムの挙動を調査した。横桁の腹板高さ方向取付位置（上、中段）と橋スパン方向の配置間隔（10, 20m）をパラメータとした検討を行う。この場合、上段配置は主桁、横桁の

上フランジ面が同一となることを意味する。そして、高い応力レベルの発生が予想される鉛直補剛材上端部の応力（図5.4中の↓印箇所の応力）が従来システムに比べてどの程度変化するかを中心に検討した。



図5.4 横桁タイプ補剛構造の応力集中

本検討の結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 下横構のないシステムでも、横桁を上段配置すると、応力は大幅に低下できる。
- 2) 横桁を中段配置した場合、従来補剛システムで得られる応力よりもさらに大きな応力が生じる。もし、従来システムで既に疲労損傷が報告されている場合、中段配置のシンプルシステムでも疲労損傷を招くことになり、対策が欠かせない。この対策として、鉛直補剛材の増厚やフランジの取付けが考えられるが、詳細は次節で説明する。

5.6節では、鋼4主I桁橋を対象に、小型のI形断面横桁のみを補剛部材としたシンプルな橋システム（図5.5参照）の力学挙動を検討した。横桁の腹板高さ方向取付位置（上、中、下段）や配置間隔（5, 10m）、床版厚（200, 250, 300mm）をパラメータとし、荷重分配性能や床版応力について従来システムとの差異を明らかにする。さらにL荷重や風荷重載荷時の挙動を調査した。

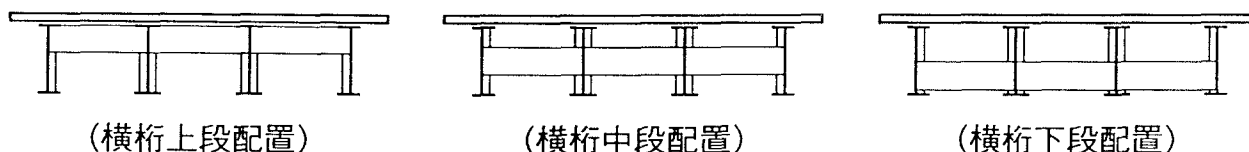


図5.5 4主I桁橋の補剛構造のシンプル化

本検討より得られた結果を要約すると以下ようになる。

- 1) 多主桁でシンプルな補剛システムを用いても、その荷重分配性能や床版応力は従来の補剛システムと変わらない。
- 2) 橋システム内で、横桁取付け位置の鉛直補剛材にのみ大きな応力が生じる。この応力は補剛材の板厚アップやフランジを取り付けることで小さくできる。
- 3) 以上の対策を前提として、横桁の腹板高さ方向取付け位置は施工性を考慮して選べる。

今後、ここで提案したシンプルシステムの実現には、実験等による確認試験が必要と考えるが、ロングライフに適した構造システムと言える。