

2. 鋼構造のインターフェースストラクチャの概要

本報告書では、土木鋼構造物の代表的な構造物である鋼橋を主な対象として、FEM 解析のモデル化や FEM 解析結果に影響を与える可能性のあるインターフェースストラクチャに着目し、既往のモデル化の事例を定型のフォーマットに従って整理するとともに、その考え方についてまとめ、解説を加えた。事例の抽出にあたっては、実験結果との比較によりモデル化の整合性を確認した事例を数多く抽出した。本報告書で対象とした鋼構造のインターフェースストラクチャを図 2.1 に示す。

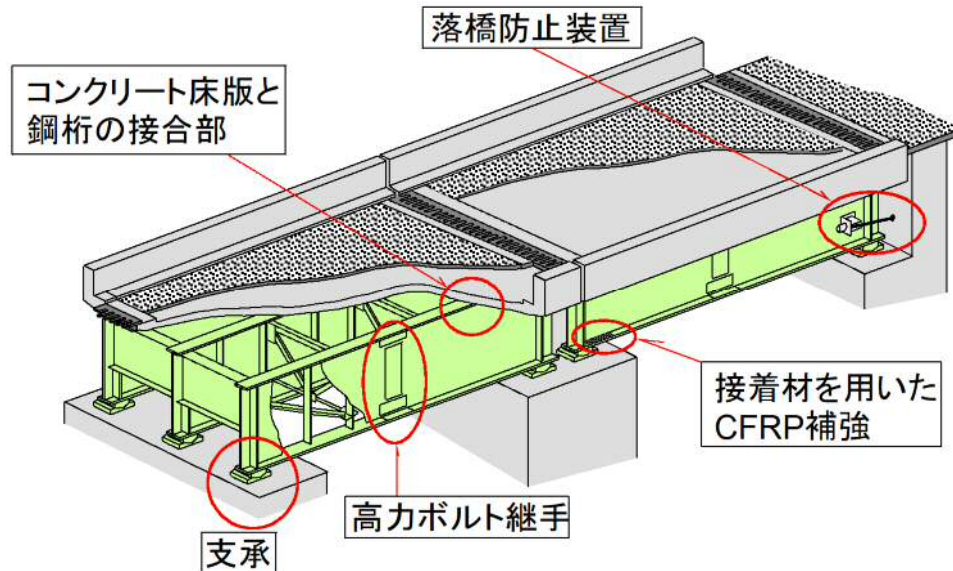


図 2.1 鋼構造のインターフェースストラクチャ

(1) 鋼とコンクリートの接合部

鋼橋の最も一般的な構造である鋼板桁橋や鋼箱桁橋では、鋼床版桁を除き、主構造を鋼桁、床版をコンクリート床版とした構造が大多数を占めている。これらの構造は、大きく鋼とコンクリートの合成効果を見込んだ合成桁と、合成効果を見込まない非合成桁に分類されるが、それぞれコンクリート床版と鋼桁の接合部の挙動が、全体挙動に大きく影響することが知られている。そのため、合成桁、非合成桁を対象とした FEM 解析を実施する場合、その接合部のモデル化が大きな問題となる。一方、維持管理性の向上や耐震性の向上を目的として採用実績が増えている鋼コンクリート複合ラーメン橋の鋼桁と RC 橋脚の剛結部や、現場施工の省力化や耐久性向上を目的として採用実績が増えている合成床版において、孔明き鋼板ジベルが使われる場合があるが、この孔明き鋼板ジベルをモデル化した FEM 解析も数多く行われている。ここでは、このコンクリートと鋼桁の接合部のモデル化方法について、スタッドジベルを用いた合成構造の接合部、孔明き鋼板ジベルを用いた合成構造の接合部、非合成桁の接合部において事例を調査し、それぞれについてまとめた。

1) スタッドジベルを用いた合成構造の接合部

合成桁のコンクリート床版と鋼桁のずれ止めとして、最も一般的に用いられているのが頭付きスタッドジベルである(写真 2.1)。3.1.1 節では、頭付きスタッドジベルをモデル化した FEM 解析の事例を調査し、まとめた。



写真 2.1 合成桁の頭付きスタッドジベルの例

2) 孔明き鋼板ジベルを用いた合成構造の接合部

複合ラーメン橋や合成床版の鋼とコンクリートのずれ止めとして、孔明き鋼板ジベル（写真 2.2）が用いられるケースが増えている。3.1.2 節では、孔明き鋼板ジベルをモデル化した FEM 解析の事例を調査し、まとめた。



写真 2.2 合成床版の孔明き鋼板ジベルの例

3) 非合成桁の接合部

非合成桁の設計では、鋼桁とコンクリート床版の合成効果は考慮されず、主方向の荷重に対しては鋼桁のみで抵抗すると仮定して設計される。しかし、既往の実橋の実測結果などで、非合成桁でも活荷重レベルにおいては合成桁として挙動することが確認されている。非合成桁では、合成効果を期待しないまでも、車両の制動荷重や地震時の水平力に対して所定の位置を確保できるように鋼桁の上にスラブ止め（スラブアンカー）が設置される（写真 2.3）。このスラブアンカーや鋼材とコンクリートの付着が非合成桁の挙動に影響を与えられとされており、スラブアンカーのモデル化を考慮した FEM 解析も行われている。3.1.3 節では、スラブアンカーのモデル化を含んだ非合成桁の FEM 解析事例、3.1.4 節では、鋼コンクリート界面の付着に関する FEM 解析事例を調査し、まとめた。



写真 2.3 非合成桁のスラブアンカーの例

(2) 高力ボルト継手

鋼橋は工場で鋼板同士を溶接して架設現場まで輸送可能な大きさの部材が製作されたのち、架設現場までトレーラーなどで輸送され、現地に架設される。この際、部材同士の接合に最も一般的な継手として、高力ボルト継手が用いられる。高力ボルト継手はその接合方式により、摩擦接合、支圧接合、引張接合に分類されるが、摩擦接合が用いられるケースが多い。高力ボルト摩擦接合継手は、鋼板同士を摩擦接合用高力ボルトで締め付け、その締め付け力に直交する鋼板同士の合い面（摩擦面）に作用する摩擦力により鋼材を接合する継手である。かつては、鋼板同士の接触条件や多数のボルトの相互作用など複雑な挙動を示す高力ボルト継手を、数値解析により評価することは困難であったが、ハードウェアやソフトウェアの進化により、近年では複雑な挙動を示すこの高力ボルト継手を対象とした FEM 解析も数多く行われるようになってきた。3.2 節では、高力ボルト継手を対象とした FEM 解析事例を調査し、まとめた。



写真 2.4 高力ボルト継手

(3) 支承・落橋防止構造

ラーメン構造を除けば、鋼橋の上部構造は温度伸縮や活荷重による変形の影響を避けるため、コンクリートの橋台やコンクリート橋脚、鋼製橋脚などの下部構造の上に、支承を介して設置される。この支承は、水平方向の移動の制限方法により、可動支承、固定支承、分散支承などに分類されるが、例えば可動支承は基本思想として回転、水平方向の移動には抵抗しないものとして設計される。ただし、実際には鋼桁の水平移動、回転移動に対して、鋼製支承の場合は摩擦力などによる、ゴム支承の場合はゴムのせん断剛性や回転剛性による抵抗が発生する(写真2.5)。さらに、鋼製支承が経年劣化により腐食した場合などでは、この抵抗力は無視できないほどとなり、鋼桁の挙動に大きな影響を与えることになるほか、桁端に疲労き裂などの重大な損傷を発生させることもある。そのため、鋼橋の実挙動を FEM 解析で把握するにあたっては、この支承部のモデル化が非常に重要である。

上部構造と下部構造の間に設置される構造として、支承のほか、大地震時の上部構造の落橋を防止するための落橋防止構造がある。落橋防止構造は、常時は作用せず、大地震時に上部構造と下部構造の間に想定を超える大きな相対変位が生じようとしたときにはじめて作用する構造であり、衝撃や速度の影響があるほか、ゴムなどの緩衝材を有し大変形を伴う複雑な挙動を示す。近年では、この落橋防止装置を対象とした FEM 解析も実施されている。

3.3 節では、鋼上部構造と下部構造間に設置される支承、落橋防止装置を対象とした FEM 解析事例を調査し、まとめた。

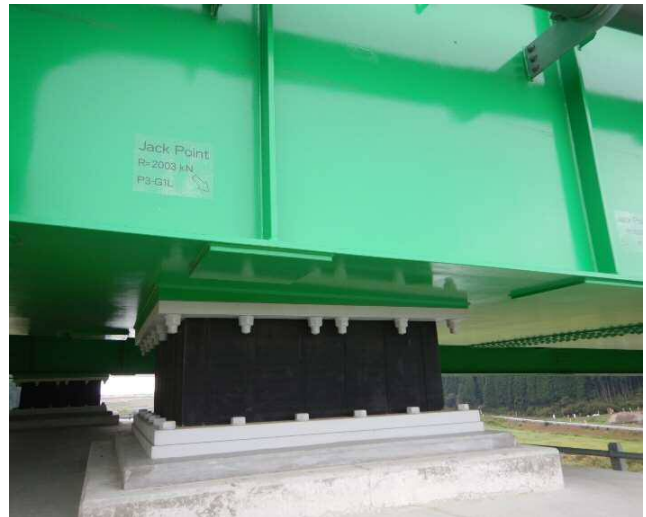


写真 2.5 鋼製支承(左)とゴム支承(右)の例



写真 2.6 落橋防止装置

(4) 接着接合

鋼材同士の継手や、鋼材に補強材を取り付ける際の接合方法としては、溶接継手や前出した高力ボルト継手が一般的であるが、近年では、鋼部材の補強としてFRPシートやFRP板を接合するケースを中心として、接着材を用いた接合も使われるようになってきた(写真2.7)。この接着材を用いた補強構造においては、端部の応力集中や剥離が問題となるが、これらを評価するためのFEM解析も行われている。3.4節では、接着接合を対象としたFEM解析事例を調査し、まとめた。



写真2.7 接着材継手(新日鉄住金マテリアルズHPより)