

## 大牟田連続高架橋（混合構造）の接合部における安全性の検討

中央大学 学生員 ○福田 幹人 中央大学 正会員 佐藤 尚次

### 1. はじめに

混合桁橋とはコンクリートと鋼をあわせた複合構造の一種で、合成桁とは異なりコンクリート桁と鋼桁を橋軸方向に接合したものである。この構造の長所は両部材の特性を生かすことで、コスト削減やスパンの増大を可能にする。短所は異種部材を組み合わせることによる強度の低下や施工の難しさ、維持管理の費用などが挙げられる。このような形式の上部工は愛知県の新川橋など近年実績が増えてきている。また、混合構造のうち混合斜長橋については1991年に共用開始となった瀬戸内海の島々を結ぶ西瀬戸自動車道を構成する生口橋が国内初の施工例であり、同じく西瀬戸自動車道の多々羅大橋（1999年供用開始）などがあるがこれらについては研究対象外とする。

もし過度の負荷がかかった場合に接合部周辺と桁はどのような挙動を示すのか。本研究では混合桁橋の例として大牟田連続高架橋を挙げ、有限要素法解析により応力の分布を算出し、破壊形状を予測・可視化することで安全性能を調査することを目的としている。

### 2. 大牟田連続高架橋の概要

大牟田連続高架橋は、福岡県大牟田市と佐賀県鹿島市を結ぶ有明海沿岸道路の中の一つで橋長1140m、PC連結少主桁橋と鋼・コンクリート混合箱桁橋からなる構造である。当初の計画では3径間連続鋼床版箱桁橋で計画されていたが事前調査の結果を受け、設計の変更を行った。橋長1140mのうち、大牟田川上空の354mを5径間連続鋼・コンクリート混合箱桁橋とすることで上部工重量の削減とコスト縮減を図った。本研究ではこの354mの区間を対象として解析を行う。

接合部の位置は曲げモーメントが小さく、正負が交差しない。曲げモーメントが小さいのは強度のためだが、正負が交差する位置を避けたのは必要なPC鋼材を減らすためである。接合部は鋼桁とPC桁間の応力伝達をスムーズなものとするため「中詰めコンクリート後面支圧板方式」を採用してある。この方式ではずれ止めと後面支圧板によって応力伝達することで、接合部における過度な応力集中を避けることができる。これらの対策を行ったうえでも、橋長による荷重の影響が大きいと考えられるため大牟田連続高架橋を対象として解析を行う。

### 3. 解析

混合桁橋の構造解析は、各限界状態に応じた各部材の特性、支持条件を考慮した適切な構造解析モデル、解析理論を用いて算定する本研究では汎用解析ソフトADINAを用いて荷重集中やモーメントの観点からシミュレーションを行う。モデルは単純化したものを用いて線形解析によることを標準とする。

橋梁においては荷重の影響を考慮すると共に熱によ



写真-1 大牟田連続高架橋

る伸縮も考えなければならない。また、伸縮は橋梁の一部にジョイントと呼ばれる構造を利用することである程度許容することが出来る。しかし、複合構造の場合は接合部に異種部材が使われていて、熱伝導率の違いから変形量に差が出て負担となることがある。そこで通常の構造解析に加えて熱解析を行う。

#### 3. 1. 構造解析

##### 3. 1. 1. 橋梁全体の解析

全体像の解析において本来であれば斜角は45°、曲率800m、また傾きも2.0%~4.0%あるがそれらの条件を無視して簡略化、単純な構造とする。接合部は剛結合として扱う。また複合構造標準示方書にのっとり、接合部を含む前後1mの区間についてはコンクリート断面として扱う。複合構造の設計・施工指針によると荷重がかかった際のひび割れ、クリープも考慮するとされているが本研究では考慮しない。桁高が変化するのに合わせて鋼の厚さなども変化するが、箱桁の横幅は変化しない。支柱上の条件はヒンジ支点としている。荷重は接合部周辺に最も負荷がかかるように等分布荷重を設定した。破壊が起きると考えられる桁高2800mmでのコンクリート部材、鋼部材の終局曲げ耐力は以下のようになった。

終局曲げ耐力（鋼）： $M_u = 3.1 \times 10^8 (\text{N} \cdot \text{m})$

（コンクリート）： $M_u = 6.2 \times 10^8 (\text{N} \cdot \text{m})$

コンクリート橋部と鋼橋部での最大変位位置におけるモーメントをとってそれぞれの終局曲げ耐力と比較する。部材における曲げモーメントが終局曲げ耐力を超えた場合を破壊状態とした。変形は図-1のようになり、鋼橋の中央部では許容たわみの約2倍にあたる630mmの変位が確認できた。この区間の許容たわみはスパンの1/500で304mmだった。この位置のデータを取るとADINAの結果から鋼橋の中央部がコンクリート部に先行して破壊に至ることが分かった。この時 $2.3 \times 10^5 \text{N/m}$ の荷重をかけていた。接合部を含む区間では負の曲げモーメントにより、鉛直上方向の変位が110mm程度確認できた。

キーワード 複合構造 有限要素法解析 熱解析

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-3-27 TEL:03-3817-1816 FAX:03-3817-1803

### 3. 1. 2. 接合部の解析

接合部のモデルは接合部の前後 3m を対象として、手前側を鋼桁、奥側をコンクリート桁とする。両端の境界条件は解析の都合上、剛結として扱う。それに加えて全体モデルから得られたモーメントを断面に付加している。このような条件で接合部のモデルを作成した。

コンクリート部材、鋼部材共に変形は小さく、許容たわみと同程度の値を示した。応力分布について、図-2 と図-3 を見ると桁上部、あるいは接合部周辺の鋼部材が比較的大きな応力を有していることがわかる。その理由として自重の影響などが考えられるが、確証が無く今後も検討を続ける必要がある。しかし、今回の解析に用いた負荷では破壊に達することは無かったものの図-2 を見てわかるように接合部の周辺部材において応力が集中していることがわかった。こういった負荷が大きくなることで破壊に至る可能性があると考えられる。

### 3. 2. 熱解析

接合部の断面の温度モデルを作成して熱の伝達・分布を観察し、得られた温度分布データを用いて構造物の変形・内部応力を調べる。下記の数値を適用している。コンクリート・鋼の熱膨張率： $12 \times 10^{-6} / (K)$

コンクリートの熱伝導率： $1.6 (W/m \cdot K)$

鋼の熱伝導率： $55 (W/m \cdot K)$

大牟田市の気温データから外気温を決定。外気温の最低値を $-15^{\circ}C$ 、最高値を $+50^{\circ}C$ として温度解析を行う。また、上部工の上面における直射日光を受けた際の路面温度は、一般的なアスファルトの断熱材を考慮して外気温と同程度であるとした。

断面を平面的に切り取ったものに関して、外気温の影響を確認することができた。図-4 は外気温を $+50^{\circ}C$ に設定したときの温度分布を表示している。鋼部材では熱伝導率が高いため外気温又は桁内部の気温とほぼ同等で内側と外側で大きな温度差が観察された。コンクリート部の内部温度は張り出し部を除き、外側から内側にかけて段階的に変化しており、熱の吸収はほぼコンクリートが担っていることがわかった。変形はほとんどなく、内部応力も確認したところ、外側の鋼部材に多少の応力は確認出来たものの特徴的な応力集中は見られなかった。原因としては平面的な解析であり、密接する部材同士での温度差を再現できなかったこと。メッシュが粗く鋼部材に関しては厚さが一要素分のため部材内部の細かな分布を確認できないことが挙げられる。

### 4. おわりに

構造解析は等分布荷重で解析を行ったが、接合部周辺では変形は許容たわみに近い値となった。これは橋の構造における接合部がモーメントの小さい位置に設定されているからであると考えられる。影響線を考慮して接合部周辺に最も負荷がかかるような等分布荷重を加えたところ許容値とほぼ同等となった。現状の条件下では他の地点に先行して破壊に至ることは無いと考えられる。今後はモデルの中で接合部の付着の不備や強度の低下も検討していく。

今回、熱解析は2次元上で温度分布と内部応力の観察に留まった。今後は三次元的な温度解析を目指すと共に時間経過による熱の広がりや考慮し、構造解析との連動を検討していく。

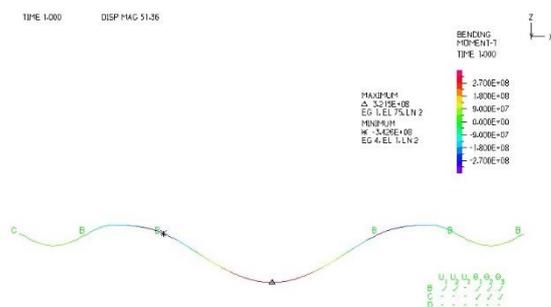


図-1 橋全体の変位図とモーメント分布

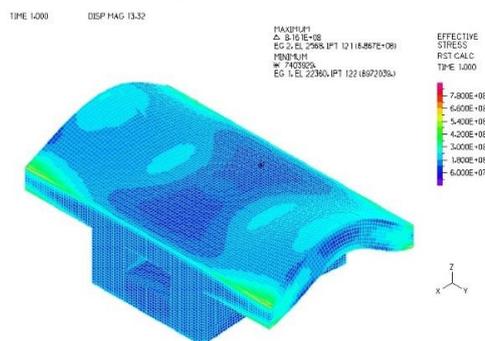


図-2 接合部の応力-1

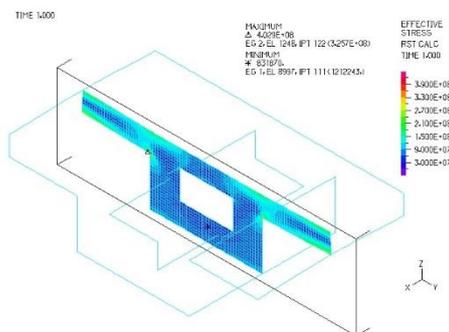


図-3 接合部の応力-2

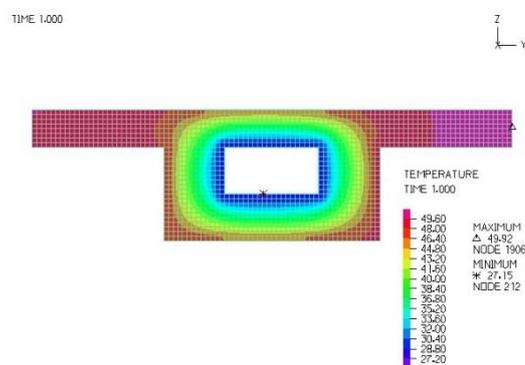


図-4 接合部の温度分布

### 参考文献・出典

- 1) 土木学会：複合構造標準示方書
- 2) 横峰正二，貴志友基，石倉昇，崎本繁治，中山元：鋼・コンクリート混合桁形式を採用した大牟田連続高架橋（仮称）の接合構造の設計
- 3) 岡村甫：鉄筋コンクリート構造物の限界状態設計法
- 4) 石倉昇，岩上憲一，今門俊郎，鶴林保彦：大牟田連続高架橋の設計と施工