

大型車両積載コンテナの衝突を受ける PC 橋梁の損傷度に関する解析的検討

九州大学大学院 学生会員 ○合屋 智史

九州大学大学院 正会員 玉井 宏樹

九州大学大学院 正会員 園田 佳巨

1. はじめに

近年、踏切による交通渋滞の解消や土地の高度利用促進を目的とした高架化事業が進められる一方で、高架橋と道路の交差部に桁下制限高さを上回る大型車両が進入し、大型車両の積載物が高架橋主桁に衝突する事故が増加している。主桁は橋梁に作用する荷重を支える重要な部材であるが、一般的な橋梁ではこのような衝突を想定して主桁が設計されていないため、今後高架橋が崩落するような重大事故の発生が懸念され、衝突を受けた主桁に生じる損傷を予測することは重要である。そこで本研究では、国内で発生した大型車両の PC 高架橋主桁への衝突事故を対象とした FEM 衝突解析を実施し、数値解析により主桁の損傷状況を再現することを試みるとともに、事故後に行われた主桁の損傷調査結果と解析結果の比較により数値解析の精度を検証した。さらに、想定される複数の衝突条件で衝突解析を実施し、車両の衝突速度・衝突角度・積載物重量が主桁の損傷状況に及ぼす影響を検討した。

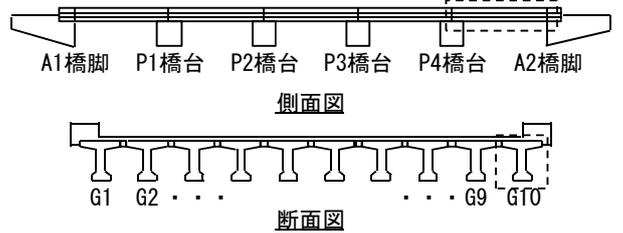


図-1 解析対象橋梁

2. PC 橋梁と大型車両の衝突解析の概要

2.1 PC 橋梁モデル

図-1に解析対象橋梁の側面図および断面図を、図-2に解析モデルを示す。本橋は5径間連続プレテンション形式 T 桁橋で主桁本数は 10 本である。今回は図-1中の点線で囲まれた1径間の最も外側の主桁1本のみモデル化を行った。また、橋軸直角方向の変形拘束や衝撃緩衝効果が考えられるため横桁および間詰もモデル化した。コンクリートはソリッド要素、鉄筋・PC 鋼線はトラス要素を用いて、コンクリートと鋼材は完全付着を仮定した。境界条件として、可動支承部の節点を鉛直方向固定し、固定支承部の節点を鉛直・橋軸方向固定した。隣接主桁との境界部は全節点を全自由度固定した。

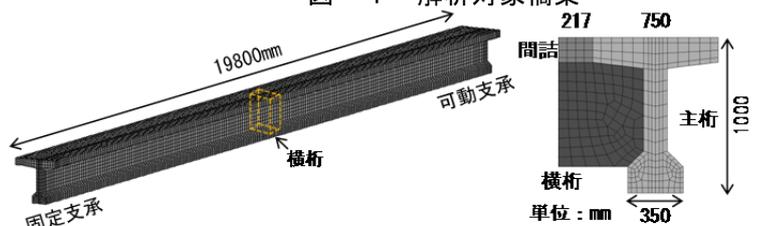


図-2 PC 主桁モデル

表-1 材料定数

| | 材料 | 密度 (g/cm ³) | ヤング率 (GPa) | ポアソン比 | 強度 (MPa) |
|----------|--------|-------------------------|------------|-------|---------------|
| 主桁 | コンクリート | 2.30 | 21 | 0.2 | 圧縮 35 引張 3 |
| | 鉄筋 | 7.85 | 210 | 0.3 | 295 |
| | PC鋼線 | 7.85 | 210 | 0.3 | 1500 |
| 横桁 間詰 | コンクリート | 2.30 | 21 | 0.2 | - |
| | モルタル | 2.30 | 15 | 0.2 | - |

表-1に材料定数を、図-3に各材料の構成則を示す。コンクリートは、圧縮域ではバイリニア型の応力-ひずみ関係を有し、引張域は引張強度に達した後は線形的に応力が低下する軟化挙動を示すものを仮定した。鉄筋は、初期剛性の 1/100 の剛性でひずみ硬化を示すバイリニア型の応力-ひずみ関係を仮定した。PC 鋼線は鉄筋と同様とした。また鉄筋・PC 鋼線の破断を考慮するため、ひずみが破断ひずみに達した要素を無効化する処理を行った。破断ひずみの値は鉄筋が 0.200、PC 鋼線が 0.035 とした。横桁および間詰は弾性体と仮定した。

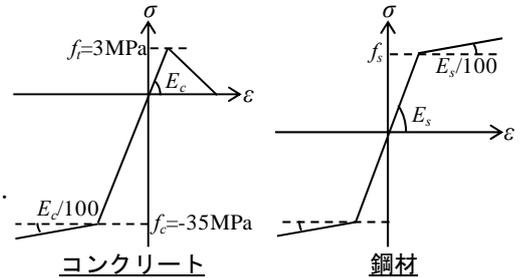


図-3 材料構成則

2.2 大型車両モデル

図-4に大型車両の解析モデルを示す。コンテナはソリッド要素、タイヤはシェル要素、車両本体・荷台・ホイールは剛体面でモデル化した。車両本体と荷台には重心位置に質量を設定し、コンテナを除く車両の総重量を 12ton とした。コンテナは中空で、板厚は 20mm、質量は 3.2ton である。コンテナの材料モデルは、鉄筋と同様の応力-ひずみ関係を仮定し、材料定数には一般的なアルミ合金の値を用いた。

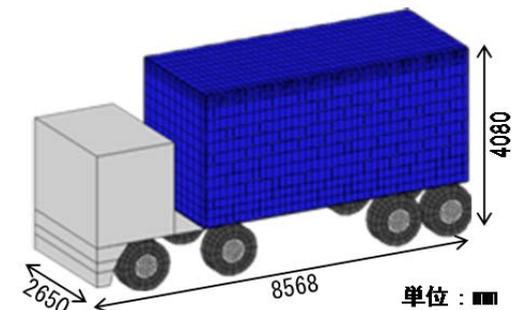


図-4 大型車両モデル

2. 3 衝突条件

衝突条件を表-2に示す。事故状況や証言に基づき推定された事故時の車両の衝突条件は、衝突速度 15km/h・衝突角度 68°・積載物重量 3.2ton である。これを基準として、衝突速度を一般道路の制限速度 40km/h とした場合、正面衝突を想定して衝突角度を 90°とした場合、過積載を想定して積載物重量を 18.2ton とした場合のケースを設定した。

解析には非線形有限要素解析ソフト MSC.MARC2010 を使用した。

3. 衝突解析結果

3. 1 数値解析による損傷状況の再現可能性および解析精度の検証

事故後に行われた主桁の損傷調査では、主桁の車両衝突方向（橋軸直角方向）への変形量、主桁の衝突側側面に生じたひび割れ性状が確認された。これらについて調査結果と解析結果を比較して、数値解析の検証を行った。

図-5に主桁の変形量を示す。解析結果は実際の変形状況とほぼ一致していることが分かる。衝突箇所で変形量に相違が生じたのは、コンクリートのひずみ速度効果を考慮していないためと考えられる。

図-6にひび割れ性状を示す。赤線は実際のひび割れ、黒色は解析におけるひび割れ領域を示している。解析ではひび割れはやや衝突箇所の近くに位置しているが、ひび割れの形状や広がり方は概ね再現できることが確認できた。

3. 2 衝突条件による主桁の損傷状況の違い

図-7に各衝突ケースの発生衝撃力を示す。発生衝撃力の最大値は、衝突速度が大きいケースで最も大きく、衝突時に主桁に作用する荷重は衝突速度の影響を強く受けると推測される。また積載物重量が大きい場合は、最大値の増加に加え継続時間も長くなっており、主桁の損傷は大きくなることが予想されるが、その影響は衝突速度よりも小さいと考えられる。正面衝突の場合には、接触面積の増加により衝突直後の衝撃力は大きくなったが、その影響は微小である。

図-8に主桁衝突側側面のひび割れ性状を示す。衝突速度 40km/h のケースでは広範囲にひび割れが発生しており、コンクリートが剥落する危険性があることが分かった。また、図-9に示すように PC 鋼線の破断が生じ、主桁の耐荷性能が著しく低下する恐れがある。そのため 40km/h で走行する大型車両が衝突する可能性のある高架橋に対しては、防護工の設置が必要であると考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 車両衝突を受けた主桁の損傷状況（変形、ひび割れ）を数値解析により精度良く再現することができた。
- 2) 衝突時の発生衝撃力や主桁の損傷に関しては、衝突速度の影響が最も大きいことが分かった。
- 3) 衝突速度が 40km/h の場合には主桁の損傷が大きく耐荷性能が著しく低下する恐れがあるため、防護工の設置等の対策が必要である。

表-2 衝突条件

| ケース名 | 衝突速度 (km/h) | 衝突角度 (°) | 積載物重量 (ton) |
|-------------|-------------|----------|-------------|
| V15-68-3.2 | 15 | 68 | 3.2 |
| V40-68-3.2 | 40 | 68 | 3.2 |
| V15-90-3.2 | 15 | 90 | 3.2 |
| V15-68-18.2 | 15 | 68 | 18.2 |

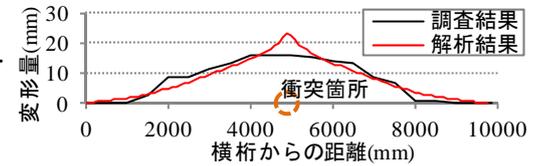


図-5 主桁の変形量



図-6 主桁のひび割れ性状

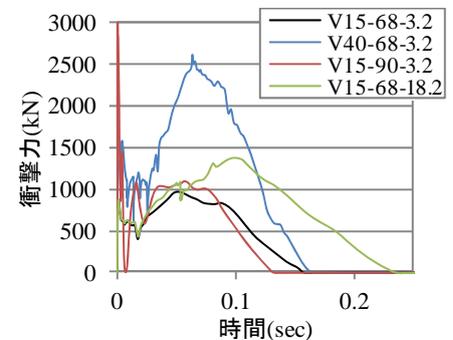


図-7 衝突条件の発生衝撃力への影響



図-8 衝突条件のひび割れ性状への影響

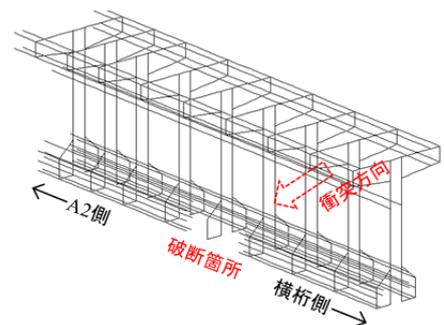


図-9 PC 鋼線の破断状況 (V40-68-3.2)