

ロックシェッド用 SRC 主桁の静的載荷実験と FEM 解析

金沢大学大学院博士前期課程 学生会員 ○松田 隆志
 金沢大学大学院博士後期課程 正会員 北島 幹士
 金沢大学理工研究域 正会員 前川 幸次

1. はじめに

ロックシェッド(以後、落石覆工)は、一般的に道路の側方に余裕がなく落石の発生しやすい急斜面がある場合で、落石の規模が大きい場合あるいは落石防護柵等ではその上を飛び越すおそれがある場合等に使用される[1]。落石覆工は、最も信頼性の高い落石対策工であるが、多用されている RC や PC 構造では落石衝撃力を受けてコンクリートが圧壊し続いて圧縮鉄筋の座屈が生じると急激に耐力を失う。一方、H 形鋼と鉄筋コンクリートから成る SRC 部材は高い靱性が期待できることから、本研究では落石覆工に SRC 部材を適用するための基礎研究として SRC 製の主桁と床版の静的載荷実験を行った。ここでは SRC 主桁の実験結果と FEM 解析モデルについて報告する。

2. 試験体の概要

図-1 は静的載荷試験に使用した SRC 主桁の断面図である。板厚 6mm の鋼板で逆台形開断面の外鋼板を製作し、補強鋼材(H-692×300×13×20)および引張鉄筋(12-D35)を配置している。落石覆工は設計荷重が常時作用しない特殊な構造物であるため、橋梁等の合成構造のような積極的な合成効果は期待せず、外鋼板には 6 本または 4 本、H 形鋼ウェブには 2 本または 4 本の頭付きスタッド(φ16×80)を 1m ピッチで溶植している。試験体は全長 13m および支間長 12m とし、フランジ幅 200mm の載荷はり 2 本をスパン中央部に 0.5m 間隔で設置すると、せん断余裕度(=せん断耐力/曲げ耐力)の設計値は 2.00(外鋼板考慮)および 1.27(外鋼板無視)となり、せん断補強筋は不要となる。コンクリート(圧縮強度 52.5MPa)を打設する前に、引張鉄筋を過密配置しているため下縁から 90mm には 1mm の空隙でも充填可能な無収縮モルタル(圧縮強度 92.0MPa)を打設した。写真-1 は、主桁の静的載荷時を表し、外鋼板のスパン中央圧縮域はコンクリートから剥離し座屈している。

3. 解析モデル

図-2 は解析モデルの断面図である。桁長方向の要素長は約 44~50mm、総節点数約 12000 節点および要素数約 88000 要素である。コンクリート材料(コンクリートと無収縮モルタル)には、最大圧縮強度に到達後の軟化挙動を表現できるモデルを使用した。また、鋼材は等方弾塑性体、支点は弾性体、載荷板は剛体とした。載荷板の変位制御により静的載荷試験を表現した。外鋼板や H 形鋼とコンクリート材料間の剥離を表現するため、接触面のせん断応力が指定したせん断強度に達するまでは接触面は固着状態を保ち、それ以後はずれを生じるような接触条件を適用した。そのせん断強度には鋼材とコンクリート材料間は 0.5MPa[2]、コンクリート材料間は 1.0MPa[3]を適用した。H 形鋼とコンクリート材料間にせん断強度を適用したモデル a、一体化させたモデル b、通常の接触条件を適用したモデル c、及び全ての接触面(外鋼板、H 形鋼、コンクリート材料)を一体化させたモデル d の 4 種類について検討した。解析は、非線形解析コード LS-DYNA の陰解法を使用した。

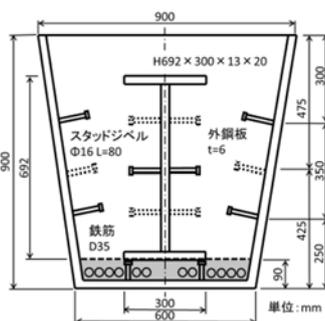


図-1 主桁試験体 断面図



写真-1 主桁 実験風景

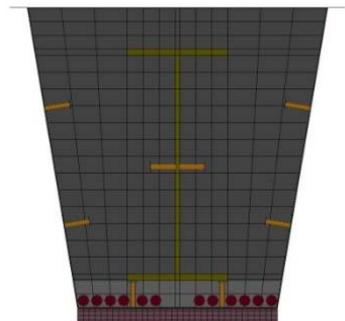


図-2 解析モデル 断面図

4. 解析結果

図-3 は荷重とスパン中央の変位関係を示す。グラフより、モデル a の解析値が最も実験値に近い剛性、最大耐荷力、及びピーク後の軟化挙動を得られている。また、変位が 0mm~100mm の範囲に着目し各解析モデルの剛性を図-4 で確認すると、荷重が約 800kN 以上からそれぞれのモデルの剛性に差が生じ始めることが分かる。これは一体化しているモデル b に比べてモデル a やモデル c では H 形鋼とコンクリート材料間でのずれが生じるためだと考えられる。また、外鋼板がコンクリート材料と一体化しているため、モデル d が最も高い剛性を示している。このことから、接触面に接触条件を適用することで、剛性が実験値に近づくことが分かる。

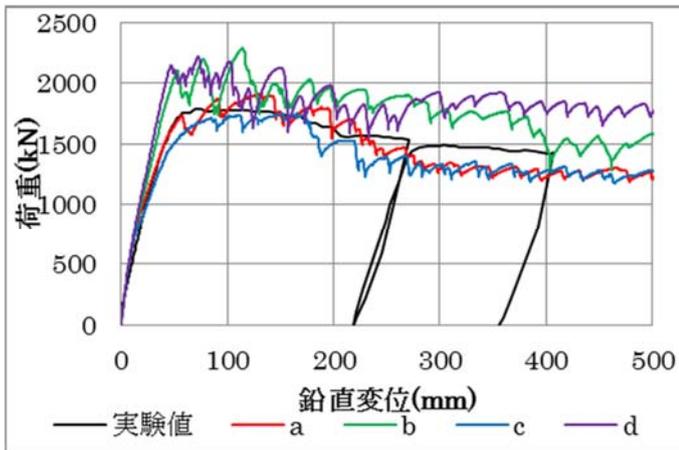


図-3 荷重-変位関係

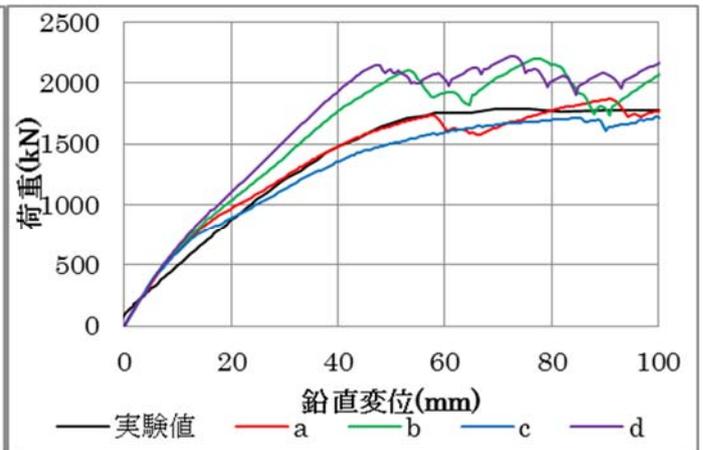


図-4 荷重-変位関係 (変位: 0~100mm)

H 形鋼とコンクリート材料間の剥離を確認するため、スパン中央とスパン中央から 4 分の 1 スパン長だけ離れたところにある H 形鋼の上面及び下面フランジの接触せん断応力(interface shear stress)を確認した。この接触せん断応力が 0MPa になるときに、剥離が生じている。図-5 にモデル a の H 形鋼とコンクリート材料間の接触せん断応力と最大荷重 1909kN までの荷重との関係を示す。図-5 より、約 800kN から 1/4 スパン長の下面フランジの剥離が生じていることが分かる。また、約 1100kN から 1/4 スパン長の上面フランジでも剥離が生じることにより、図-4 に示したような剛性の低下が発生していると考えられる。したがって、鋼材とコンクリート材料間の接触条件にせん断強度を考慮することで、剥離による剛性の低下だけでなく剥離に伴う耐力の低下も表現できることが分かる。

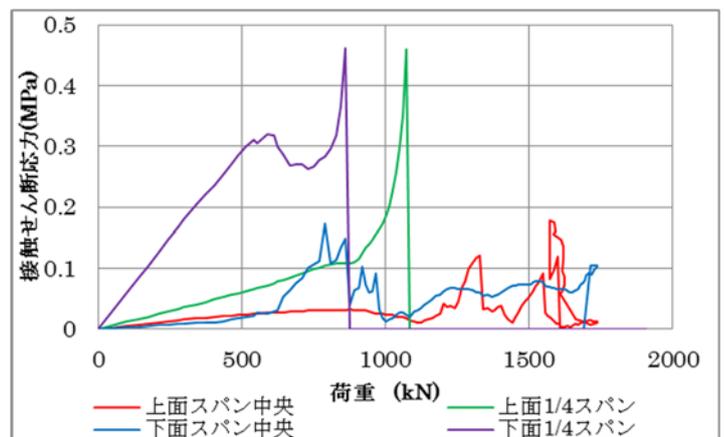


図-5 荷重-接触せん断応力関係

5. まとめ

本研究では、開発中の SRC 構造のロックシェッドを構成する主桁の有効な解析モデル作成のため、接触条件を複数変更して解析を行った。その結果、鋼材やコンクリート材料間の接触条件にせん断強度を導入することで、異なる材料間に生じる剥離の影響を表現できることが確認できた。今後は、ロックシェッドを構成する床版と主桁の各部材間の連結や動的応答解析に対する適用性も検討していく。

参考文献

- [1] 日本道路協会：落石対策便覧，丸善印刷株式会社，2000。
- [2] 複合構造委員会 複合構造標準示方書小委員会：2014年制定 複合構造標準示方書 原則編・設計編，土木学会，2015
- [3] 安井一貴：自己充填モルタルのせん断付着強度，高知工科大学大学院，2009