

AFRP シート補強を施した実規模 RC 製ロックシェットの三次元動的骨組解析

土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○今野久志
土木研究所寒地土木研究所 正会員 山澤文雄
土木研究所寒地土木研究所 正会員 西 弘明

室蘭工業大学大学院 正会員 栗橋祐介
(株)構研エンジニアリング 正会員 保木和弘
釧路工業高等専門学校 フェロー 岸 徳光

1. はじめに

本研究では、RC 製ロックシェットの耐衝撃補強設計法を確立することを最終目的として、衝撃実験により損傷を与えた実規模 RC 製ロックシェットにアラミド繊維 (AFRP) シート補強を施した試験体に対して重錘落下衝撃実験を実施した。さらに、三次元動的骨組解析を実施し、実験結果との比較により、耐衝撃補強設計における解析ツールの一つとしての適用性を検討したので報告する。

2. 実験概要

実験に使用した試験体は、過年度において塑性領域までの衝撃実験を実施した実規模 RC 製ロックシェット模型である¹⁾。図-1 には、試験体の形状寸法を示している。試験体は、道路軸方向長さが 12 m、外幅 9.4 m、側壁高さ 6.4 m の箱型構造である。柱の道路軸方向長さは 1.5 m、部材厚さは、頂版、底盤、柱および側壁共に 0.7 m である。実験に使用した RC 製ロックシェット模型の設計は、落石対策便覧を参考として、90 cm 厚の敷砂緩衝材を設置し、設計落石条件を質量 2 t、落下高さ 5 m (入力エネルギー 100 kJ)、衝撃力 $P = 1,466$ kN として、許容応力度法に基づいて行っている。AFRP シートによる補強範囲は、ひび割れ分布性状より曲げ変形に対する補強効果を期待して、頂版下面は柱 A 側の端部より 8 m の範囲で幅 50 cm の AFRP シート 1 層を道路軸直角方向に連続的に接着をしている。側壁外縁は縦方向に 1 層、柱部は柱外縁に縦方向に 1 層とその外側に横方向に 1 層を巻き付けている。なお、ひび割れに対する注入は行わず目付量 830 g/cm^2 の AFRP シートを接着している。衝撃载荷実験は、質量 10 t の鋼製重錘をトラッククレーンにより所定の高さに吊り上げ、着脱装置により所定の位置に自由落下衝突させることにより行っている。

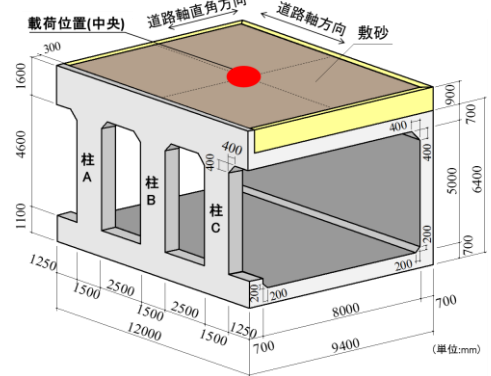


図-1 試験体形状寸法

● 荷重入力節点 ● 節点 ● 剛域
— 骨組要素 — 弾性床支持 — 剛域

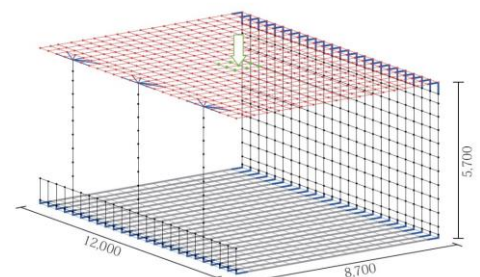


図-2 解析モデル

3. 数値解析概要

図-2 には、本数値解析に用いた三次元動的骨組解析モデルを、図-3 には各材料の応力-ひずみ関係を示している。要素分割は 1 要素長を各部材厚の 0.7 倍程度 (0.5 m) になるように設定している。また、隅角部には道路橋示方書に準拠し剛域を設定している。柱と頂版の接合部には頂版の道路軸方向の変位分布やねじりを適切に柱に分担するように、頂版部より放射状に剛域を設定している。本解析モデルには、断面寸法や各材料定数を考慮したファイバー要素を使用した。ファイバー要素のセル分割については、各セルの中心近傍に部材軸方向鉄筋が配置されるように設定している。なお、底面の境界条件は弾性床支持とし、圧縮方向のみバネを考慮している。頂版上の敷砂緩衝材の質量は、要素に付加することで考慮している。減衰定数は、質量比例分のみを考慮し、事前に固有振動解析を行い、鉛直方向最低次曲げ振動モードに対応した固有振動数に対して、 $h = 2.5\%$ に設定した。本数値解析には、Engineer's Studio Ver. 5.00.04 を使用し

キーワード RC 製ロックシェット、重錘落下衝撃実験、AFRP シート、三次元動的骨組解析

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3-1-34 土木研究所寒地土木研究所寒地構造チーム TEL: 011-841-1698

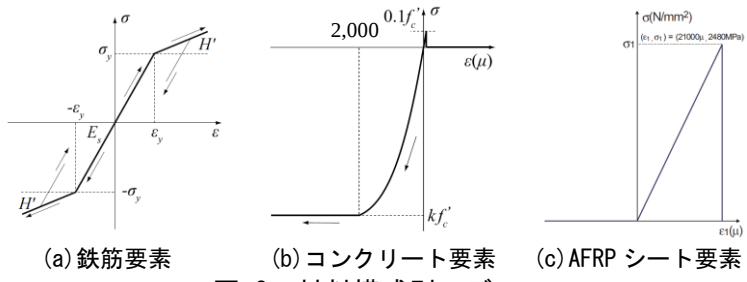


図-3 材料構成則モデル

ている．解析ケース一覧を表-1に示す．解析対象は，AFRPシート補強前後において同一の実験条件である敷砂緩衝材を使用し，中央載荷を行った入力エネルギー $E = 1,500 \text{ kJ}$ の実験ケースである．図-4には，数値解析に用いた入力荷重波形を示す．使用した入力荷重波形は，それぞれの実験で得られた重錘衝撃力波形である．数値解析は，先ず過年度に実施した補強前の実験ケースに対して，実験結果と解析結果との比較から数値解析手法の妥当性を検討した．次に，AFRPシート補強後の実験ケースに対して載荷履歴が無いものとして数値解析を実施した．その結果，解析結果は実験結果を過小評価することから，載荷履歴の影響が大きいものと判断し，AFRPシート補強後の数値解析モデルに対して，上記2種類の重錘衝撃力波形を各解析結果の応答値が十分に収束するような時間間隔で連続させ，1つの入力荷重波形として数値解析を実施することで載荷履歴の影響を考慮した場合についても検討している．

4. 実験・解析結果および考察

図-5には，AFRPシート補強前の数値解析ケースに対する載荷点直下の頂版変位時刻歴応答波形を実験結果と併せて示している．解析結果は変位波形の立ち上がりから最大変位発生前後の波形性状に至るまで最大変位応答値を含めて実験結果を非常に良く再現できている．しかしながら解析結果の最大変位発生以降の波形性状は実験結果とは異なっている．図-6には，補強後の解析ケースに対する載荷点直下の頂版変位時刻歴応答波形を実験結果と併せて示している．損傷履歴を考慮せず重錘衝撃波形を入力荷重波形とした場合には，実験結果の最大変位に対し20%程度過小評価となっていることが分かる．次に，損傷履歴としてS-E1500の重錘衝撃力波形を事前に入力し，さらにS-E1500-Aの重錘衝撃力波形を入力荷重として与えた場合には，実験結果の最大変位をほぼ再現できている．このことから，補強前の損傷による剛性低下を考慮するための一手法として入力荷重の連続載荷が考えられるが，採用する入力荷重波形に関してはさらなる検討が必要である．

5. まとめ

本研究により，1)三次元動的骨組解析を用い，重錘衝撃力波形を入力荷重波形とすることで載荷履歴の影響が無い場合のRC製ロックシェッドの衝撃載荷実験結果の載荷点最大変位を大略再現可能であること，2)載荷履歴によって損傷を有するRC製ロックシェッドをAFRPシートで補強する場合には，入力荷重波形を連続して載荷することで載荷点最大変位を大略再現できる可能性があること，が明らかとなった．

参考文献

1)山口悟，小室雅人，栗橋祐介，今野久志，岸徳光：敷砂または碎石緩衝材を用いた落石防護覆道の実規模衝撃載荷実験，構造工学論文集 Vol.61A，2015.3

表-1 解析ケース一覧

解析ケース	AFRP補強	履歴考慮	入力荷重波形
1	無	無	S-E1500
2	有	無	S-E1500-A
3	有	有	S-E1500+S-E1500-A

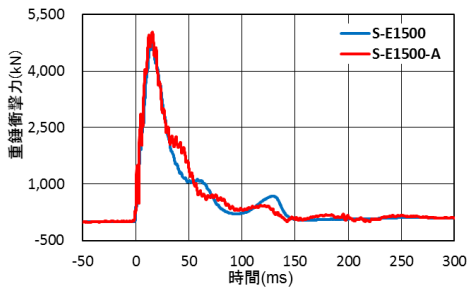


図-4 入力荷重波形

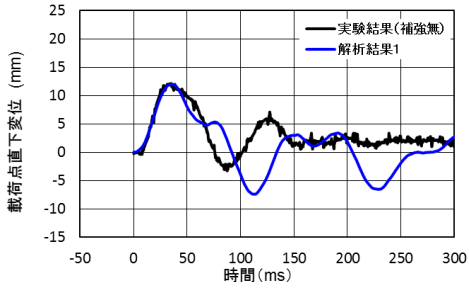


図-5 頂版変位の時刻歴応答波形

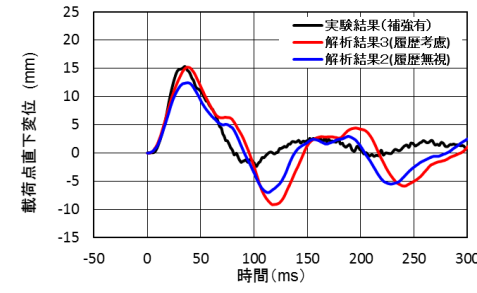


図-6 頂版変位の時刻歴応答波形