

AFRP シート接着曲げ補強 RC 梁の衝撃応答解析における構成則に関する一検討

室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学大学院

学生会員 ○瓦井 智貴
フェロー 岸 徳光

室蘭工業大学大学院
三井住友建設(株)

正会員 小室 雅人
フェロー 三上 浩

1. はじめに

本研究は、AFRP シートを用いて下面接着曲げ補強を施した RC 梁(以後、シート補強試験体)の動的挙動を適切に再現可能な解析手法の確立を目的として、別途実施した重錘落下衝撃実験を対象に三次元弾塑性衝撃応答解析を実施した。ここでは、国内外で広く適用されている 2 種類のコンクリート構成則と、著者らが提案している構成則¹⁾を適用し、構成則の違いがシート補強試験体の耐衝撃挙動に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

図 1 には、シート補強試験体の形状寸法、配筋およびシート接着による補強状況を示している。試験体の形状寸法(梁幅×梁高×スパン長)は、 $200 \times 250 \times 3,000$ mm である。軸方向鉄筋は上下端に D19 を各 2 本配置し、せん断補強鉄筋には D10 を用い、100 mm 間隔で配筋している。また、梁下面には AFRP シート(目付量 830 g/m^2)を支点の 50 mm 手前まで接着した。

実験は質量 300 kg の鋼製重錘を所定の高さ(落下高さ $H = 1.0, 2.0, 2.5, 3.0$ m)からスパン中央に一度だけ自由落下させて実施している。なお、試験体は浮き上がりを拘束し、ピン支持に近い構造で固定されている。

3. 数値解析概要

図 2 には、有限要素モデルを示している。対称性を考慮

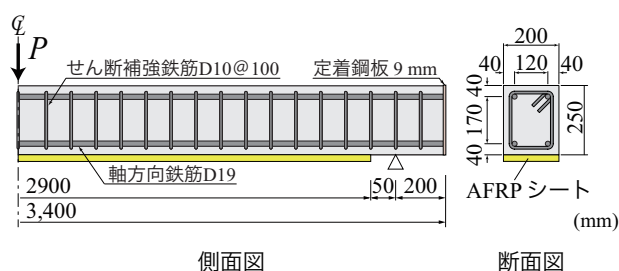


図 1 試験体の形状寸法と配筋およびシート接着状況

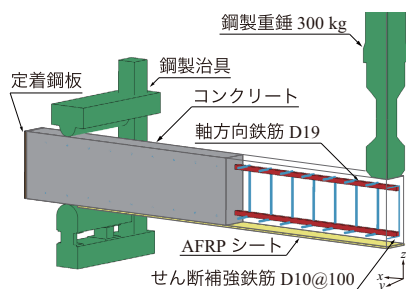


図 2 有限要素モデル

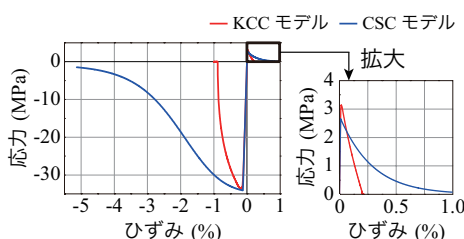


図 3 材料構成則

した 1/4 モデルを採用し、せん断補強鉄筋は 2 節点梁要素、それ以外はすべて 8 節点固体要素を用いた。減衰定数は、質量比例分のみを考慮するものとし、事前解析により鉛直方向最低次固有振動数に対して 0.5% と設定した。また、重錘-梁間および梁-支点治具間には、面と面との接触・剥離を伴う滑りを考慮した接触面を定義し、境界条件は、対称切断面において法線方向変位成分を、支点部では治具回転中心軸に沿ってピン支持条件とした。

図 3 には本研究で用いたコンクリート構成則である、KCC モデル²⁾および CSC モデル³⁾の応力-ひずみ関係を示している。いずれの構成則も圧縮軟化および引張軟化を考慮した構成則となっているものの、その軟化勾配は異なる。また、著者らが提案している構成則¹⁾(以後、提案モデル)に関しても同様の検討を行い、2 種類のコンクリート構成則との比較検討を行った。なお、提案モデルは、圧縮側に関しては相当ひずみが 0.15% に達した時点で降伏するバイリニア型とし、引張側に関しては引張強度に到達した時点で応力を伝達しないカットオフモデルとなっている。ここでは、いずれの構成則に関してもコンクリートの圧縮強度は材料試験から得られた値($f'_c = 33.7 \text{ MPa}$)を入力しており、コンクリート要素の軸方向要素長 L は 25 mm を基本として解析を実施した。

鉄筋は既往の研究¹⁾と同様に、降伏後の塑性硬化を考慮したバイリニア型の構成則とした。また、AFRP シートは弾性体と仮定し、引張側に関しては破断ひずみ($= 1.75\%$)に到達した時点で要素が削除される設定を用いた。

4. 数値解析結果及び考察

図 4 には、落下高さ $H = 2.5$ m における無補強試験体の載荷点変位波形について実験結果と数値解析結果を比較する形で示している。無補強試験体の場合には、いずれのモデルにおいても実験結果をほぼ適切に評価可能であ

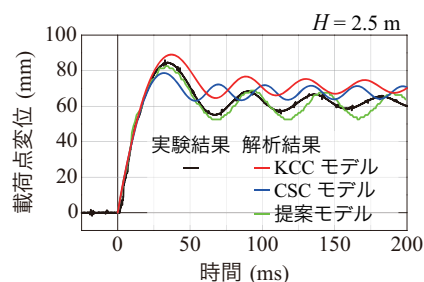


図 4 無補強試験体に関する載荷点変位波形

キーワード：RC 梁、AFRP シート下面接着、有限要素法、衝撃応答解析、構成則

連絡先：〒050-8585 室蘭工業大学大学院 ぐらし環境系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX 0143-46-5228

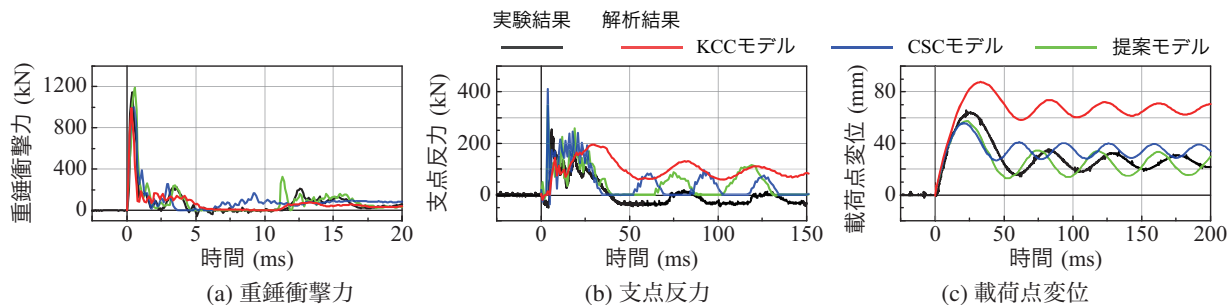
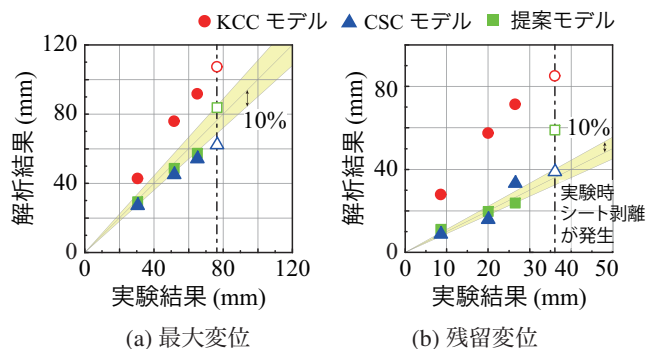
図5 AFRP シート補強試験体に関する各種時刻歴応答波形 ($H = 2.5$ m)

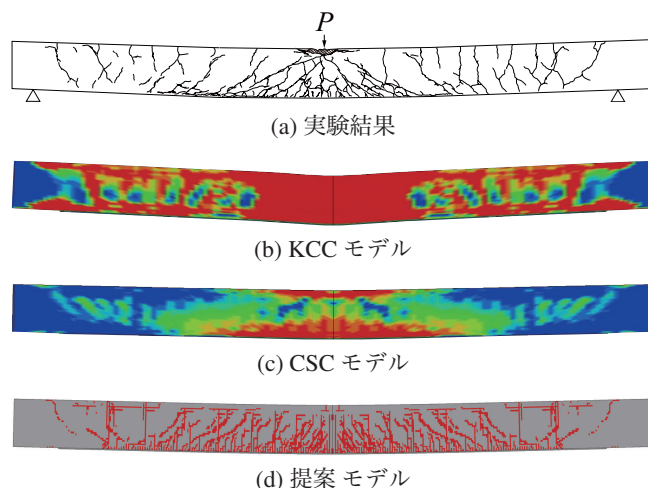
図6 実験結果と解析結果の最大・残留変位比較

ることが分かる。

図5には、シート補強試験体の各種時刻歴応答波形について示している。なお、提案モデルにおいては、既往の研究¹⁾に準じて、要素長を小さくし、破壊エネルギーを考慮した換算引張強度を適用した場合の結果である。まず、(a)図の重錘衝撃力に着目すると、いずれのモデルに関しても実験結果をほぼ適切に再現していることが分かる。(b)図の支点反力に着目すると、CSCモデルおよび提案モデルは概ね実験結果の波形性状を再現している。(c)図の荷点変位に着目すると、最大変位に関してはKCCモデルでは実験結果を過大に、CSCモデルでは過小に評価しているのに対し、提案モデルは残留変位も含めた実験結果を最も精度良く再現していることが分かる。

図6は、本研究において対象とした落下高さ $H = 1.0 \sim 3.0$ mの最大変位と残留変位について、横軸に実験結果を、縦軸に解析結果を取って整理したものである。また、黄色の領域は誤差10%以内であることを表している。シート剥離が生じ、終局に至った落下高さ $H = 3.0$ mのケース(図中、白抜き)を除き、提案モデルが最も精度良く、実験結果を再現していることが分かる。

図7には、落下高さ $H = 2.5$ mにおける実験終了後のシート補強試験体側面のひび割れ分布と、それぞれ解析結果から評価されるひび割れ分布を比較して示している。(b)図に示すKCCモデルの場合には、損傷を過大に評価しており、実験結果ではみられない下縁鉄筋に沿うようなひび割れが確認できる。これは、図3に示す引張軟化領域が小さく、損傷が大きく評価されることが一因と考

図7 ひび割れ分布比較 ($H = 2.5$ m)

えられる。また、CSCモデルの場合には、衝突位置直下の損傷が卓越しているものの、実験結果にみられる斜めひび割れが顕著に現れない。一方で、提案モデルの場合には衝突位置近傍の斜めひび割れや支点近傍に生じるひび割れなどが明確に確認できる。

5. まとめ

- (1) 無補強試験体の場合には、いずれのモデルにおいても荷点変位をほぼ適切に再現可能である。
- (2) 一方、シート補強試験体の場合には、提案モデルを用いることによりひび割れが明確に確認でき、かつ、実験結果を概ね再現可能である。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP17K06527 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 瓦井智貴, 小室雅人, 岸徳光, 栗橋祐介: AFRP シート下面接着曲げ補強 RC 梁の衝撃応答解析, コンクリート工学年次論文集, 40 巻, 2 号, PP. 715-720, 2018
- 2) Malvar, L. J., Crawford, J. E., Wesevich, J. W., Simons, D.: A plasticity concrete material model for DYNA3D, *International Journal of Impact Engineering*, Vol.19, No.19, PP. 847-873, 1997
- 3) Murray, Y. D.: Users manual for LS-DYNA concrete material model 159, Technical Report, 2007