

AFRP シートで下面補強した扁平 RC 梁の耐衝撃挙動に関するファイバー要素解析

(株) 構研エンジニアリング 正会員 ○鈴木健太郎
土木研究所寒地土木研究所 正会員 今野 久志
釧路工業高等専門学校 フェロー 岸 徳光

室蘭工業大学 正会員 小室 雅人
(株) 構研エンジニアリング フェロー 川瀬 良司

1. はじめに

本研究では、AFRP シートで下面補強した扁平 RC 梁の衝撃実験を対象に、ファイバー要素を用いた動的骨組解析を実施し、その適用性を検討した。

2. 実験概要

表 1 には、本検討のケース一覧を示している。ケース数は AFRP シート補強の有無および载荷方法を変化させた 6 ケースである。シート補強したケースのうち、重錘の設定落下高さ（以後、単に落下高さ） $H = 2.0, 3.0$ m は同一の試験体を用いており、 $H = 0.5$ m, 1.0 m の载荷履歴を有している。図 1 には、試験体の概要を示している。実験時におけるコンクリートの圧縮強度は 25.2 MPa、軸方向鉄筋の降伏強度は D10 および D13 でそれぞれ 375, 377 MPa である。AFRP シートの目付量および保証耐力は、それぞれ 830 g/m^2 , $1,200 \text{ kN/m}$ である。

梁上面のスパン中央部には、厚さ 200 mm の敷砂緩衝材を 450 mm 四方の範囲に設置している。敷砂の粗粒率、最大乾燥密度および最適含水比はそれぞれ 1.37, 1.516 g/cm^3 , 19 % となっている。また、実験時における敷砂の含水率は 9.9 % であった。梁底面における AFRP シートの接着範囲は、梁幅方向に全幅、梁軸方向にはスパン中央部から両支点の 50 mm 手前までの範囲とした。シート接着は、幅 150 mm の 1 方向 AFRP シート 3 枚を平行に並べる形で行った。衝撃载荷実験は、質量 300 kg、先端直径 200 mm の鋼製重錘を落下高さから RC 梁のスパン中央部に自由落下させて行った。扁平 RC 梁は、浮き上がり防止治具付きの支点上に設置しており、治具全体が回転を許容できる構造になっている。測定項目は重錘衝撃力、载荷点変位および実験終了後のひび割れ性状である。

3. 解析概要

図 2 に骨組解析で使用した骨組モデルおよびファイバー断面モデルを示す。本解析では、既往の研究¹⁾と同様に骨組モデルの要素長を 100 mm ($100/150 = 0.67 D$) と設定した。境界条件は支点の上下方向への変位を拘束し、回転は許容している。減衰定数 h は、質量比例型減衰項のみを考慮することとし、鉛直方向の一次曲げ振動モードに対応した固有振動数に対して、 $h = 1.0 \%$ と設定している。

図 3 には解析に用いた材料物性モデルを示している。鉄

筋要素は降伏後の塑性硬化係数 $H' = 0.01 E_s$ とするバイリニア型の等方便硬化則を適用した。コンクリート要素の構成則モデルは、既往の研究¹⁾と同様に東京大学コンクリート研究室で開発されたコンクリートの除荷・再载荷を含む経路依存型の構成則モデルを採用している。なお、引張側に関しては圧縮強度の 1/10 に達した段階で応力を

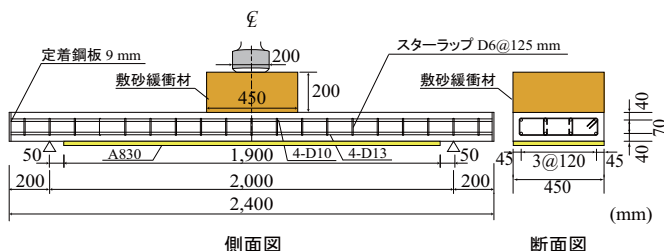
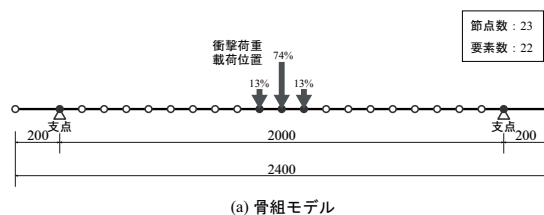
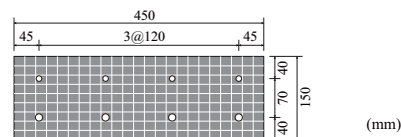


図 1 試験体の概要（シート補強の場合）



(a) 骨組モデル



(b) ファイバー断面モデル

図 2 数値解析モデル

表 1 実験・解析ケース一覧

ケース名	シート補強	载荷方法	落下高 (m)	入力エネルギー (J)
S-S-2.0	無	単一	2.0	5,880
S-S-3.0			3.0	8,820
S-S-4.0			4.0	11,760
SA-C-2.0	有	繰返	2.0	5,880
SA-C-3.0			3.0	8,820
SA-S-4.0		単一	4.0	11,760

キーワード：扁平梁、敷砂緩衝材、連続繊維補強、動的骨組解析、ファイバー要素

連絡先：〒065-8510 (株) 構研エンジニアリング 防災施設部 TEL / FAX 011-780-2813 / 011-785-1501

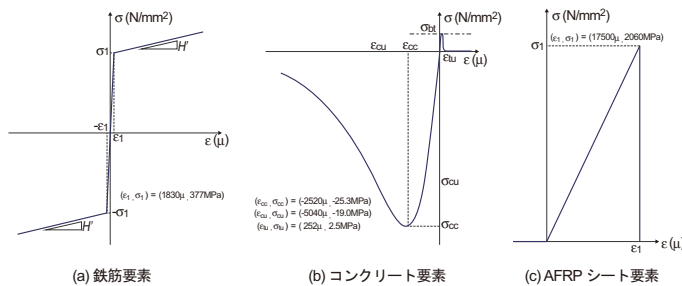


図3 材料構成則モデル

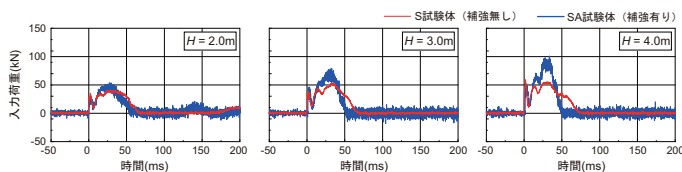


図4 入力波形(実験結果)

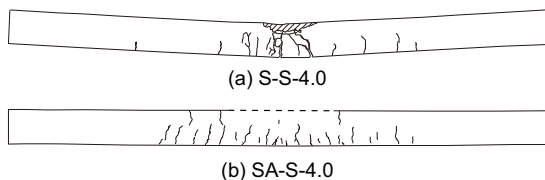


図5 ひび割れ分布図(実験結果)

伝達しないモデルとした。AFRP シート要素は引張のみ荷重を伝達するものとし、コンクリートの引張側と同様に破断した段階で応力を伝達しないものとした。

本数値解析に使用した時刻歴入力荷重は図4に示す重錘衝撃力(実験値)である。AFRP シート補強したケースは、落下高さが小さい場合は損傷が小さく载荷履歴の影響は小さいものと考え、SA-C-2.0/3.0の解析ケースも単一载荷として解析を実施している。なお、本数値解析には Engineer's Studio Ver.5.00.04 を使用している。

4. 実験結果と解析結果の比較

図5には、実験終了時における側面のひび割れ性状($H = 4.0\text{m}$)を示している。図より、両者ともに広範囲にわたり下縁からの曲げひび割れが発生しており、SA 試験体は上縁からも曲げひび割れが生じている。また、SA 試験体の実験結果はS 試験体の場合とは異なり、残留変位はほとんど生じていないことが分かる。これはシート補強により変形が抑制されるためと考えられる。

図6には、载荷点直下における時刻歴変位波形を示している。(a)図より、S 試験体の実験結果および解析結果はいずれも最大振幅を示す第1波が励起したのち、減衰自由振動を呈して残留変位が生じていることが分かる。実験結果と解析結果において減衰自由振動に位相差が認められるが、これは解析では支点の水平方向および回転を拘束しない条件で実施しているのに対し、実験では浮き

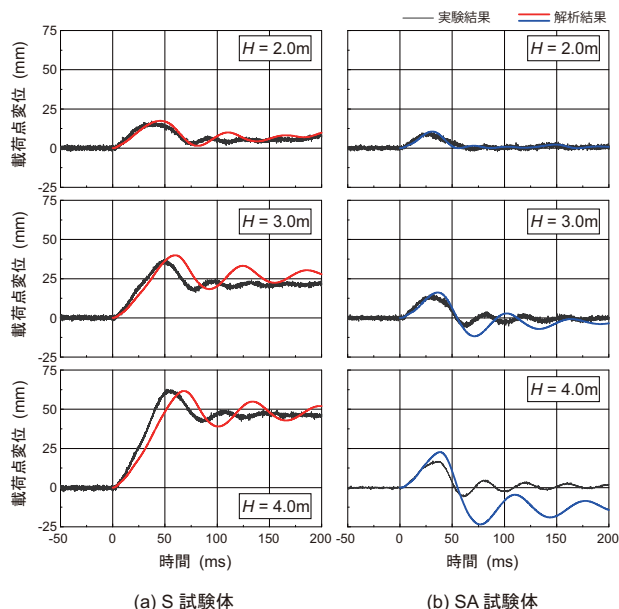


図6 载荷点変位波形

上がり防止の支点治具を用いているため、支点治具の摩擦による影響で水平方向および回転の拘束が作用し、試験体が見かけ上固くなる挙動を示したため実験よりも解析の周期が若干長くなったものと推察される。

(b)図より、SA 試験体の実験結果はひび割れ分布図と同様、残留変位はほとんど生じていない。解析結果については、落下高さ $H = 2.0\text{m}$ は最大変位および残留変位を精度よく再現している。一方、 $H = 3.0\text{m}$ 以降の場合は最大変位を精度良く再現しているものの、リバウンド後の挙動が大きく異なり、図中の負側(衝突面側)に残留変位が生じている。解析結果では、 $H = 3.0\text{m}$ 以降において下端鉄筋要素が降伏していることを確認している。このことは、本解析条件では、AFRP シートで下面補強した扁平RC 梁において、下端鉄筋が降伏するレベルの衝突エネルギーが作用する場合には、リバウンド後の挙動を適切に再現できないことを示唆している。この点に関しては、別途検討が必要であるものと考えられる。

5. まとめ

本研究の範囲で得られた知見を以下に示す。

- 1) 動的骨組解析は敷砂緩衝材を用いた扁平RC 梁においても適用可能である。
- 2) 動的骨組解析はAFRP シートにより下面接着した扁平RC 梁に対しては、载荷点変位の最大応答値までは精度よく再現可能である。

参考文献

- 1) 小室雅人, 牛渡裕二, 武田雅弘, 岸徳光: 衝撃荷重を受けるRC はりの動的応答性状に関するファイバー要素解析法の適用性, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.2, pp.529-534, 2014.7