

接着剤および炭素繊維を適用したブラケット構造の曲げ接着強度の既設コンクリートの強度の影響

京都大学 学生会員 ○川崎 敏嗣 (株) I H I インフラ建設 正会員 山下 亮
京都大学 正会員 山本 貴史 京都大学 フェロー 宮川 豊章

1. はじめに

既設コンクリート橋の補強において、外ケーブル補強工法、落橋防止装置設置工法あるいは縁端拡幅工法等、外力を支持する点を新たに設ける場合、コンクリートブラケット構造が必要とされるケースが多い。このブラケットから既設橋への外力の伝達は、既設橋への削孔が要求されるため、設計の自由度が限定されるのが現状である。そこで、削孔を要さない接着剤および炭素繊維を適用したブラケットの定着工法が提案された。ただしこの提案は、経年によって起こりうる既設コンクリート部材の劣化を考慮していない。そこで、ブラケット補強工法を適用する既設コンクリート部材に生じた劣化により、特にコンクリート強度が低下している状況を想定し、ブラケット構造を想定した曲げ接着強度試験および上記の試験結果を再現する非線形 FEM 解析を実施した。

2. 実験概要

i) 供試体概要

寸法 H100*D100*L200[mm]の無筋コンクリートの断面に接着剤を片面 35[g]塗布して接着した。供試体の写真を図-1 に示す。また、打継ぎ面となる断面にはコンクリート打設前に遅延剤を塗布しておき、脱型後ワイヤーブラシで骨材の洗出し処理をすることで 2~3 mm の凹凸を設けた。接合前の打継ぎ面を図-2 に示す。接着剤は、既往の研究により、接着用のエポキシ樹脂を使用した。



図-1 供試体概要

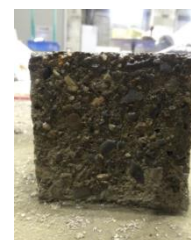


図-2 打継ぎ面

ii) 実験要因

曲げ試験の試験要因を表-1 に示す。接着供試体の曲げ強度との比較用に一体打ちの供試体を作製した。なお試験ケースにおいて、P は接着を表し、M は一体打ち (JIS で規定された曲げ試験の供試体) を表す。X-Y-P, Z-M について、X, Y, Z は目標圧縮強度を表す。例えば、10-10-P は、目標圧縮強度 10 と 10 のコンクリートを接着した供試体を示す。

表-1 試験要因

試験ケース	目標圧縮強度 [N/mm ²]	接合方法	接着剤	試験体数
10-10-P	10-10	接着 (P)	接着用エポキシ	3
10-30-P	10-30	接着 (P)	接着用エポキシ	3
10-50-P	10-50	接着 (P)	接着用エポキシ	3
50-50-P	50-50	接着 (P)	接着用エポキシ	3
10-M	10	一体 (M)	—	9
30-M	30	一体 (M)	—	3
50-M	50	一体 (M)	—	6

iii) 解析について

解析モデルの作成には midas FX + for DIANA を、解析には汎用解析ソフト DIANA ver.9.4.4 を使用した。モデル概要について、図-3 に解析モデル図を示す。モデルは、実験用供試体と同様に、100*100*400[mm]のはりを側面から見た二次元とし、平面応力問題として扱った。接着剤適用部を除くコンクリート部は分散ひび割れモデルとし、接着剤を適用した中央部は離散ひび割れモデルとした。模擬荷重は、一般的な 4 点曲げ試験同様一方の支点を XY 方向に拘束し、もう一方の支点を Y 方向にのみ拘束し、上面の荷重点に鉛直下向きの強制変位を与えて行った。構成則に関して、コンクリート部には平面応力要素を、接着剤、

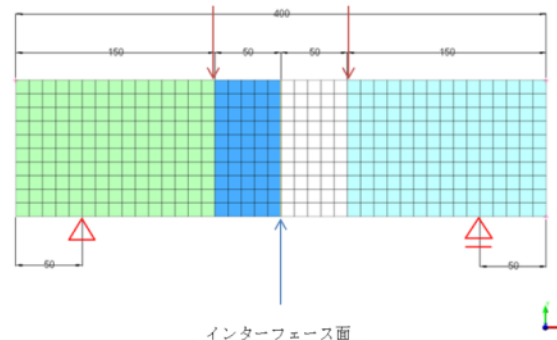


図-3 解析モデル

Satoshi KAWASAKI, Ryo YAMASHITA, Takashi YAMAMOTO and Toyoaki MIYAGAWA

kawasaki.satoshi.32c@st.kyoto-u.ac.jp

隣接したコンクリートおよびその界面を包括した接合部にはインターフェース要素を用いてモデル化を行った。コンクリートの引張側の強度特性にはコンクリート圧縮強度を用いてコンクリート標準示方書より導出した引張軟化曲線を参考とした。圧縮側は弾性挙動とした。インターフェース要素は平面応力要素と同様にコンクリート標準示方書から導出した引張軟化曲線を参考としたが、こちらは既往の研究⁹⁾によりひび割れ開始後 0.015mm 分のじん性を持たせた。また、軸剛性はエポキシ樹脂のヤング係数を設計塗布厚さで除して求めた。

3. 実験結果および考察

実験結果を表-2 に示す。10-10-P、50-50-P の試験ケースについて、曲げ接着強度は、管理供試体の曲げ強度と比較して 1～2 割大きい結果となった。これは、健全なコンクリート同士を接着したケースと一致する。よって、コンクリートの強度が低くても、エポキシ樹脂層が変形することにより、局所的な応力がエポキシ樹脂との接合面に集中し、コンクリート部に発生する応力が緩和された結果、破壊荷重が大きくなった可能性が考えられる。

10-30-P、10-50-P の試験ケースについて、曲げ接着強度を表-3 に示す。表の通り、曲げ接着強度に大きなばらつきが出た。ただし、いずれの実測値も管理供試体の曲げ強度の平均値よりは大きく、よって、曲げ接着強度が曲げ強度より小さい値になることはない。曲げ接着強度にばらつきが出た原因に関しては、現在検討中である。

解析結果を表-4 に示す。曲げ接着強度の算出方法について、どのケースとも供試体が破壊する以前の最大荷重を破壊荷重として支点反力を求め、曲げ理論より曲げモーメント図を書き、破壊面での曲げモーメントの値を用いて算出した。

10-30-P と 10-50-P のケースで曲げ接着強度に大きな差が出た。これは、表-2 に示したとおり強度が低い部分のコンクリートの強度の違いが原因である。

10-30-P のケースの解析上の曲げ接着強度について、10-10-P の曲げ接着強度より低い値となった。これは、図-4 の供試体中央下部に示す通り強度の低い供試体と高い供試体を接着した場合、強度の低い供試体同士を接着した場合に比べて、強度の高い供試体は静弾性係数が大きいので、ひずみが強度の低い側に集中し、破壊荷重が小さくなったことが考えられる。ただし、表-2、3 の 10-10-P と 10-30-P のケースを比較すると、10-30-P の曲げ接着強度の方が大きいケースがあり、必ずしも解析通りに破壊が行われるわけではないことがいえる。この原因は現在検討中である。

4. まとめ

- i) 曲げ接着強度はコンクリートの強度に関わらず、一体打ちコンクリートの曲げ強度より 1～2 割大きい値となった。強度が低いコンクリートと高いコンクリートを接着した場合、曲げ接着強度が強度の低いコンクリートそのものの曲げ強度より小さい値になることはなかった。
- ii) 強度が低いコンクリートと高いコンクリートを接着した場合の解析上の曲げ接着強度は、強度が低いコンクリート同士を接着した場合と比較して、小さい値となった。ただし、強度が低いコンクリートと高いコンクリートを接着した場合の実験上の曲げ接着強度のばらつきは大きかった。

表-2 実験結果

試験ケース		10-10-P	10-30-P	10-50-P	50-50-P
管理供試体の圧縮強度 (N/mm ²)	目標圧縮強度 10	13.2	13.2	7.91	48.2
	目標圧縮強度 30・50		45.7	46.0	
管理供試体の引張強度 (N/mm ²)	目標圧縮強度 10	1.39	1.39	0.84	3.53
	目標圧縮強度 30・50		3.23	4.04	
一体打ちの曲げ強度 (N/mm ²)	目標圧縮強度 10	0.64	0.64	0.17	3.01
	目標圧縮強度 30・50		2.65	4.05	
管理供試体の静弾性係数 (N/mm ²)	目標圧縮強度 10	20685	20685	20539	32458
	目標圧縮強度 30・50		23074	33533	
曲げ接着強度 (N/mm ²)		0.77	1.04	0.53	3.57

表-3 曲げ接着強度の実測値

試験ケース	10-30-P	10-50-P
曲げ接着強度 (N/mm ²)	1	1.41
	2	0.68
	3	0.66

表-4 解析結果

試験ケース	解析要因				解析結果	
	平面応力要素	インターフェース要素		せん断剛性 N/mm ²	曲げ接着強度 N/mm ²	破壊形態
		じん性の有無	軸剛性 N/mm ²			
10-10-P	分数ひび割れ	○	1195	443	2.20	コンクリート部
10-30-P	分数ひび割れ	○			1.93	コンクリート部(強度が低い側)
10-50-P	分数ひび割れ	○			1.32	コンクリート部(強度が低い側)
50-50-P	分数ひび割れ	○			4.76	コンクリート部

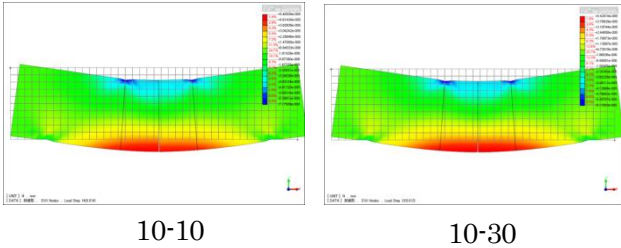


図-4 载荷途中の x 方向のひずみ