

鋼製橋脚支点直下ダイヤフラムに対する接着剤を用いた当板補強効果の検証

(株)日本エンジニアリング(株) 正会員 ○稲葉圭亮・政門哲夫
首都高速道路(株) 正会員 磯部龍太郎・星名浩人

1. はじめに

近年、鋼製橋脚の横梁支点直下に位置するダイヤフラムには数多くの疲労き裂（以下、き裂）が確認されている。これらのき裂が進展すると支承を陥没させるなどの恐れがあるため、早急な補修・補強が必要となる。一般的な補修・補強工法は、応急対策として切削除去、貫通孔、ストップホール施工等によるき裂進展抑制（図-1）を実施後、恒久対策としてのベースプレート拡大化（図-2）であるが、支承の撤去または取替が必要となり速やかに施工を行うことが困難な場合が多い。そのような場合、橋脚内部から当板補強を実施しているが、支承ベースプレートが支障となり、ボルト接合を適用できない場合が多い。そこで、横梁内部のみで施工可能な当板補強工法として、鋼板によるボルト接合と接着接合を併用した工法について FEM 解析にて補強効果を検証した結果を報告する。

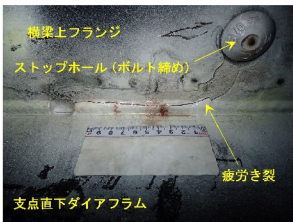


図-1 き裂応急補修状況

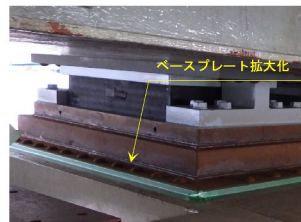


図-2 ベースプレート拡大化

2. 補強構造の概要

図-3 に示す上フランジ-ダイヤフラムのスリットおよびスカラップ廻し溶接部からのき裂（以下、FD1 き裂）と上フランジ-ダイヤフラムのルート部からのき裂（以下、FD2 き裂）を対象に補強構造を検討した。

補強構造は、横梁上フランジ面を樹脂による接着接合とし、ダイヤフラム面および縦リブ面はボルト接合とした。

既往の研究¹⁾では、上フランジ面に充填材（上フランジと部材の密着性を高める目的）としてエポキシ系樹脂を適用した場合、補強効果があることが確認されている。しかし、実施工で適用するにあたり養生方法（30℃・6時間）が課題であること、想定しない引張応力等による充填材の剥離が懸念として挙げられる。そこで、常温速硬化かつエポキシ樹脂よりも低弾性のため、変位に追従可能で剥離を抑制できる MMA（メチルメタクリレート系）樹脂接着剤を適用することとした。

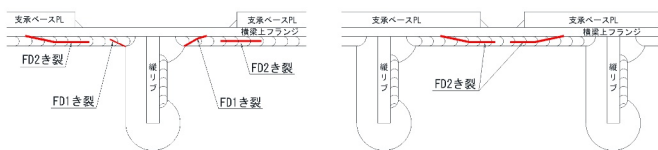


図-3 支点直下近傍に生じるき裂タイプ分類

キーワード 支点直下ダイヤフラム、疲労き裂、接着接合、FEM 解析

連絡先 〒231-0023 横浜市中区山下町 209 番地 日本エンジニアリング(株) TEL045-640-0156

FD1 き裂に対する補強は、スリット部の局部変形の抑制と沓座から伝達される鉛直力の応力低減を目的に 3 面補強とした（図-4）。FD2 き裂に対する補強は、沓座ベース端直下に生じる応力集中の低減を目的にリブを設けた L 部材による 2 面補強とした（図-5）。

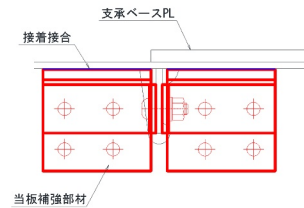


図-4 FD1 き裂に対する補強

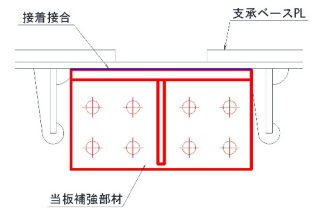
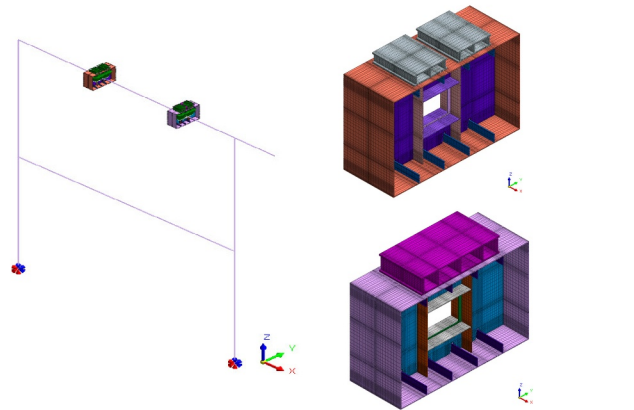


図-5 FD2 き裂に対する補強

3. FEM 解析による補強効果の検証

3.1 FEM 解析の概要

解析モデルは、本工法にて施工を予定している鋼製橋脚全体をモデル化した。解析モデルはできる限り簡略化する目的で支点直下ダイヤフラム等の主要着目部はソリッド要素を用い、その他については梁要素を用いた（図-6）。橋脚全体をモデル化したのは、横梁のたわみによる影響を考慮するためである。なお、解析には汎用解析システム midas GTS NX を使用した。



(a) 全体モデル

(b) 着目ダイヤフラムのモデル

図-6 FEM 解析モデル

3.2 荷重載荷ケース

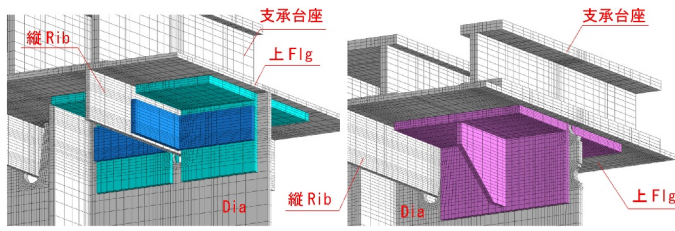
本解析にて補強効果を検証する荷重載荷は、沓座部直上に対して集中荷重ではなく、面荷重として載荷する。載荷ケースは表-1 に示す 2 ケースとした。

表-1 荷重載荷ケース

荷重載荷ケース	載荷条件
ケース 1	起点側：活荷重反力-最大、終点側：載荷無し
ケース 2	起点側：載荷無し、終点側：活荷重反力-最大

3.3 当板補強モデル

補強後のモデルを図-7に示す。本解析は、当板補強部材（鋼板）はソリッド要素、当板補強部材と横梁上フランジの接合に用いる接着剤はばね要素でモデル化した。ばね要素については既往の研究²⁾で示されている接着剤の物性値を参考とした。本解析では、鋼板によるボルト接合とMMA樹脂による接着接合を併用した補強構造の補強効果を確認すること目的としているため、き裂を想定しない健全モデルで接着厚は1mmにて実施した。補強部材の板厚は既設板厚と同等の12mmを基本とし、上フランジ面は19mmとした。これは、溶接線をかかわすために角部において10カットを設けるためである。また、補強部材材質はSM400Aで統一した。



(a) FD1 き裂補強モデル (b) FD2 き裂補強モデル

図-7 当板補強モデル

3.4 解析結果

応力の評価点は、特異点を避けるために横梁上フランジより1メッシュ離れた位置のダイアフラム（き裂発生起点）とした。

図-8にケース1, 2におけるFD1き裂に対する補強前後の鉛直方向応力分布図を示す。補強前応力分布からわかるように主応力の正負が交番していることが確認できた。これは着目する沓座端部の直上に荷重が載荷されていない場合は、沓座から伝達される鉛直力よりもスリット部の局部変形により生じる引張応力が支配的であるためといえる。これにより移動載荷時に発生する応力振幅が大きくなることから、疲労き裂が発生しやすい状況にあるといえる。補強後の応力分布をみるとスリットコバ面の圧縮応力、引張応力ともに大きく低減されていることから、移動載荷時に発生する応力振幅も大きく低減される。この結果から、FD1き裂に対して、十分な補強効果があることが確認できた。

図-9にFD2き裂に対する補強前後の鉛直方向応力分布を示す。FD2き裂の場合もFD1き裂と同様に主応力の正負が交番しており、移動載荷時に発生する応力振幅が大きくなっている。補強後の応力分布をみるとFD2き裂の発生起点となる沓座ベースプレート端直下付近の圧縮応力が大きく低減されていることが確認できた。FD2き裂は、沓座から伝達される鉛直応力に起因して発生しやすいため、今回検討している補強構造は、十分な補強効果があることが確認できた。

表-2, 表-3に各ケースにおける応力低減効果の一覧を示す。

以上のことから、エポキシ樹脂のように高い弾性率でなくてもフランジ面を確実に接着剤で密着させることで圧縮側鉛直力に対しても十分な補強効果があることが判明した。

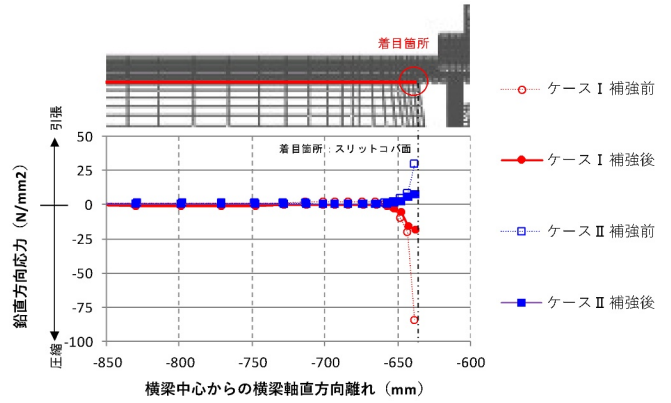


図-8 FD1 き裂発生箇所の応力分布図

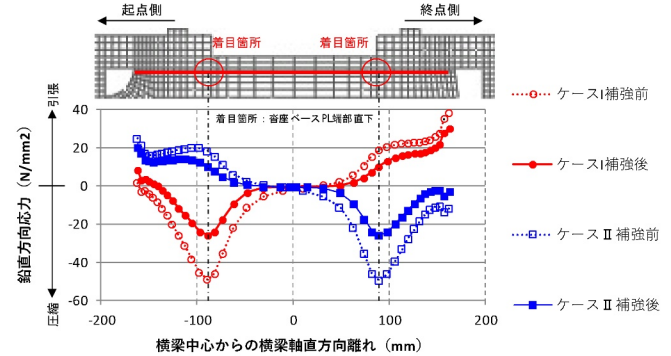


図-9 FD2 き裂発生箇所の応力分布図

表-2 FD1 き裂発生箇所の応力低減率

試験ケース	評価位置	鉛直方向応力 (N/mm ²)		補強効果	
		補強前	補強後	低減値 (N/mm ²)	低減率 (%)
ケース1	起点側沓座端部直下	-49.0	-25.9	23.1	47%
	終点側沓座端部直下	18.6	10.3	8.3	45%
ケース2	起点側沓座端部直下	18.4	10.3	8.1	44%
	終点側沓座端部直下	-49.3	-25.9	23.4	47%

表-3 FD2 き裂発生箇所の応力低減率

試験ケース	評価位置	鉛直方向応力 (N/mm ²)		補強効果	
		補強前	補強後	低減値 (N/mm ²)	低減率 (%)
ケース1	スリットコバ面	-49.0	-25.9	23.1	47%
ケース2	スリットコバ面	18.4	10.3	8.1	44%

4. おわりに

FEM解析の結果、鋼板によるボルト接合とMMA樹脂による接着接合を併用した補強構造にて応力低減率50%程度の応力低減効果があった。しかし、本解析は接着厚1mmとした場合の解析結果であり、接着厚さによる補強効果の影響は明らかになっていない。今後、より明確に補強効果を確認するために施工後の応力計測結果からの解析モデルの妥当性検証、解析モデルの改善（き裂のモデル化等）、接着剤厚を変更した場合の補強効果の検証を進めていく。また、上フランジ面をエポキシ系接着剤やメタルタッチとした場合との比較検証、現行要領における補強構造との比較検証、鋼板からCFRP板に変更した場合の補強効果検証も必要な検討事項と考えている。

参考文献

- 1) 穴見健吾, 溝江慶久, 八木貴之, 梶原仁: 鋼製橋脚横梁支点直下ダイアフラムの疲労損傷に対する補修・補強検討, 土木学会構造工学論文集, Vol.53A, pp.755-765, 2007.3
- 2) 中村一史ら: 断面欠損した鋼桁端柱部材のCFRP板接着補修における接着不良のモデル化と性能回復, 第73回土木学会年次学術講演会講演概要集, I-452, pp.903-904, 2017.8