断面欠損した桁端部を CFRP 板接着補強した鋼 I 桁橋の橋軸直角方向耐荷挙動

(一財)首都高速道路技術センター　正会員○上條崇　同左　正会員　小林明史
首都高速道路(株)　正会員　平野秀一　同左　正会員　今井貴也
東京都立大学　正会員　中村一史　日本エンジニアリング(株)　正会員　政門哲夫
(株)ダイクレ　正会員　鈴木啓之　(株)ITW PP & F JAPAN　中川健太

1. まえがき

鋼部材の断面欠損に対する当て板接着工法において，施工の効率化を図ることを目的に，事前に工場で製作したCFRP補強板（以下，補強板）をメチルメタクリレート系構造用接着剤で接着する工法を開発している（図-1）．

補強された桁端部について，圧縮力を受ける柱部材としての耐荷挙動は実験と解析で検討されており，断面欠損によって生じる耐荷力の低下を本補強工法によって健全状態まで回復し得ることが確認されている[1)]．

しかし，橋梁が地震力を受け桁端部に大きな水平力が作用する場合についても同様に補強効果が得られるか否かについては未検討であるため，ここでは，桁端部をCFRP接着補強した鋼 I 桁橋を対象に，橋軸直角方向地震が作用する場合の耐荷挙動をFEMで検討した．

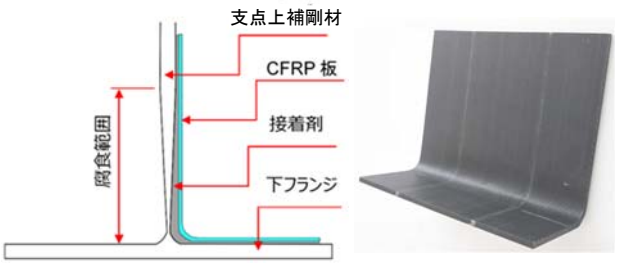
2. 解析内容

(1) 解析モデル　解析対象は5主桁の単純合成 I 桁橋である．解析モデルは全橋モデル（1/2モデル）とした（図-2）．

解析モデルに自重を載荷した後，橋軸直角方向の加速度を漸増させ荷重－変位関係を求めた．

鋼桁の主部材と端対傾構および補強板はシェル要素でモデル化した．鋼桁の2次部材はトラス要素でモデル化した．接着剤と床版はソリッド要素でモデル化した．

補強板は弾性体($E=1.76\times10^5$ N/mm²)とし，鋼材および接着剤には塑性化を考慮した．鋼材と接着剤の応力－ひずみ関係を図-3 a), b)に示す．鋼材と接着剤はMisesの降伏条件に従うものとした．鋼材の応力－ひずみ関係はバイリニア型とし，降伏後の2次勾配はヤング係数の1/100とした．接着剤についてもバイリニア型の応力－ひずみ関係を用い，降伏後の2次勾配はヤング係数の1/100とした．接着剤のヤング係数と降伏応力は試験結果に基づき設定した．なお，接着剤の2次勾配は解析の収束性を確保する目的で設定しており，実際の挙動を反映したものではない．



(a)　工法概要　　(b)　CFRP 補強板

図-1　CFRP 板接着工法

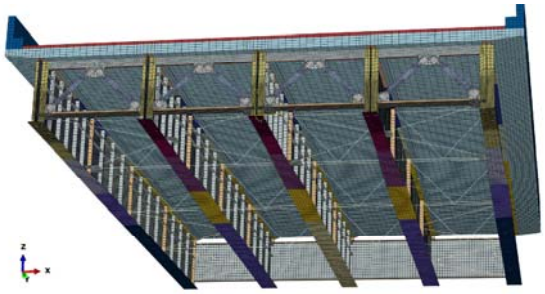
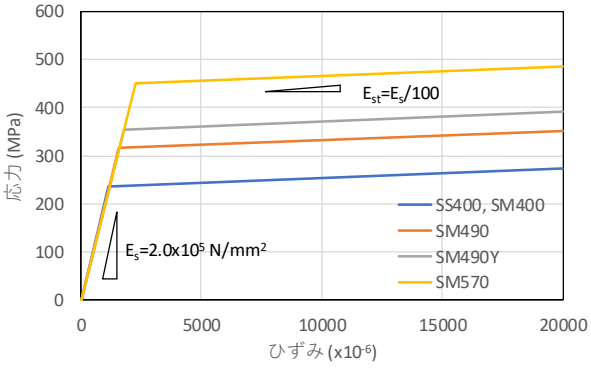
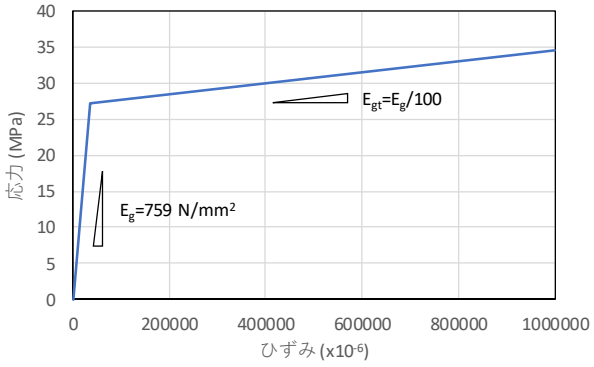


図-2　解析モデル



a) 鋼材



b) 接着剤

図-3　応力－ひずみ関係

キーワード　桁端，補修，補強，CFRP
連絡先　〒105-0001　東京都港区虎ノ門 3-10-11　(一財)首都高速道路技術センター　TEL 03-3578-5772

© Japan Society of Civil Engineers

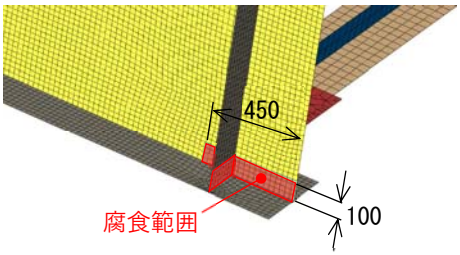


図-4　腐食範囲

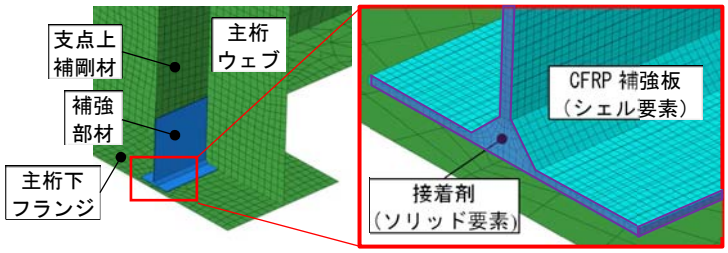


図-5　補強板および接着剤のモデル化

(2) 腐食範囲および補強部材のモデル化　G1～G5の全ての主桁について，支点上補剛材とウェブの腐食による減厚を考慮した．支点上補剛材は下端から100mmの範囲が全幅に渡って一様に腐食しているものとした．ウェブは桁端から450mmまでの範囲が高さ100mmで一様に腐食しているものとした．支点上補剛材，ウェブとも腐食率（減厚量／減厚前の板厚）を75%とした．腐食範囲を**図-4**に示す．

CFRPの必要量は，主桁の腐食減厚を等価な軸剛性の補強板で補う方針で決定した[1)]．補強板は支点上補剛材と下フランジに接するように配置した．補強板高さは200mmとし，下フランジと接する部分の長さは50mmとした．補強板と鋼桁とが接する面には接着剤を介在させ，接触面全域に渡って接着剤厚さを2mmとした．補強板と接着剤のモデル化を**図-5**に示す．

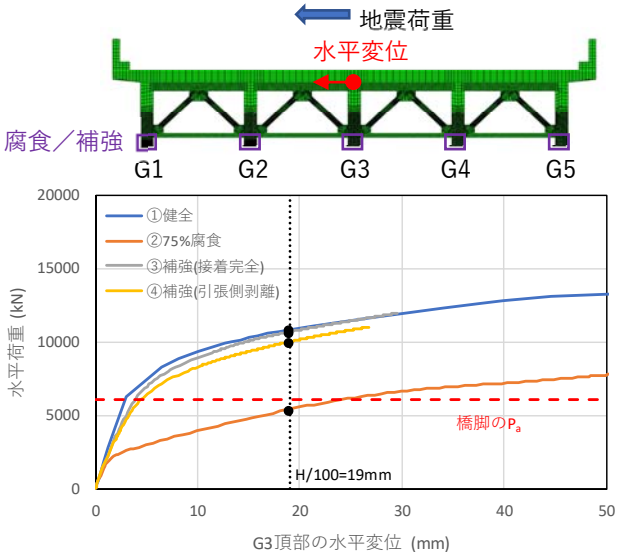


図-6　水平荷重－水平変位関係

本解析では CFRP の接着状態として，接着が完全な場合（接着完全）と，大きな引張力が作用すると考えられる下フランジ上面－接着剤間の結合を解除した場合（引張側剥離）の 2 通りを解析した．

3. 解析結果

水平荷重と G3 桁頂部の水平変位の関係を**図-6** に示す．図の縦軸はモデルに作用させた加速度に橋の質量を乗じて求めた水平荷重である．同図から，「②75%腐食」は「①健全」に対して耐荷力が 1/2 程度まで低下している．これに対して，「③CFRP 補強（完全接着）」と「④CFRP 補強（引張側剥離）」では「健全」に近い荷重－変位関係が得られており，補強によって耐荷力が回復することが確認できる．また，ウェブ面に補強が無くとも耐荷力は健全状態とほぼ同等である．

橋軸直角方向の地震荷重に対する安全性を検討する目的で，橋の水平耐力を水平変位が H/100（H:桁高）となる時点を目安に水平耐力を求めた（**図-6** 中の●）．ここで，水平変位 H/100 は H29 道示 V 9.3 の鋼製橋脚の残留変位の制限値を参考にしたものであり，本橋では H/100=19mm となる．**図-6** の水平荷重－水平変位関係において最大耐力点が現れないことからこの目安を設けた．一方，上部工に作用する水平力は，H29 道示 V 13.3.7 の横変位拘束構造に作用する水平力を参考に，下部構造の地震時保有水平耐力とした．本橋の場合，下部構造（RC 橋脚）の地震時保有水平耐力は 6047kN である．

図-6 から，「②75%腐食」の場合は耐荷力が不足する結果であるが，「①健全」，「②補強(接着完全)」および「③補強(引張側剥離)」では，水平耐力が下部構造の地震時保有水平耐力を上回る結果となった．

4. まとめ

(1) ウェブおよび支点上補剛材に腐食を考慮したモデルに対して，支点上補剛材にのみ補強材を配置した場合でも，橋の耐荷力は健全状態近くまで回復する．

(2) 補強板と下フランジとの接触面が剥離しても，補強効果はほとんど低下しない．

参考文献　1) 今井ら: 断面欠損した鋼桁端柱部材の CFRP 板と低弾性接着剤による性能回復に関する検討，土木学会論文集 A1, Vol.75, No.5, II_6-II_18, 2019.

© Japan Society of Civil Engineers