

第 I 部門

内面が腐食した鋼箱型断面部材の内面からの補強方法に関する基礎的研究

大阪市立大学工学部 学生員 ○廣澤 直人

大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

阪神高速道路（株） 正会員 高田 佳彦

1. 研究背景および研究目的

近年、大阪平野における地下水位の過大な上昇に伴い、様々な問題が生じている。阪神高速 15 号湊町付近に位置する鋼製フーチングでは、内部に地下水が流れ込み、図-1 に示すような腐食が発生し、断面減少による耐荷力の低下が懸念されている¹⁾。鋼製フーチングは、支承を介して支持される鋼箱型断面部材の格子構造として許容応力度設計法によって設計が行われている。鋼製フーチングは外面が防護コンクリートに覆われていることから、外面からの作業を必要としない、内面からの補強方法の開発が求められている。

本研究では、内面が腐食した鋼箱型断面部材の、内面からの補強方法について検討するため、FEM 解析を実施し、腐食が耐荷力に及ぼす影響および補強方法について基礎的な検討を行う。

2. 解析モデル

(1) 解析対象と断面諸元

底面における腐食が進行していること、中間支点部底面では負曲げによる圧縮力が作用することを踏まえ、中間支点部底面の補剛板に着目した。解析対象とする補剛板の形状と寸法を図-2 に、機械的性質と断面諸元を表-1 に示す。

(2) 解析手法

解析には Abaqus6.14 を用いた。解析モデルは図-3 に示すように 1/4 モデルとした。荷重は縦補剛材を含む載荷辺に、一様圧縮強制変位を与え、ウェブとダイアフラムの支持辺を単純支持とした。要素は低減積分 8 節点シェル要素を用いた。要素分割は縦補剛材を高さ方向に 10 分割する大きさ(要素辺長: 16mm)とした。応力-ひずみ関係は、ひずみ硬化係数 $E/100$ のバイリニア型とした。考慮した初期不整を表-2 に示す。腐食は下フランジと縦補剛材の板厚を一樣に減肉することで模擬し、減肉率は 10~50%とした。また、完全積分 20 節点ソリッド要素を用いて、縦補剛材のフランジへの溶接

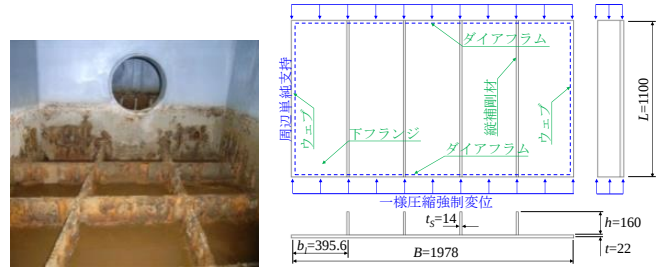
図-1 内部腐食状況¹⁾ 図-2 解析対象とした補剛板(単位:mm)

表-1 機械的性質と断面諸元

機械的性質		断面諸元		道示規定 ²⁾
鋼種	SM490	縦補剛材の剛比と必要最小剛比の比 $\gamma_{I/I_{req}}$	2.5	> 1
降伏点 σ_y (N/mm ²)	315	縦補剛材間の板パネルの幅厚比パラメータ R_R	0.38	< 0.5
弾性係数 E (N/mm ²)	200,000	縦補剛材の自由突出板としての幅厚比パラメータ R_S	0.73	> 0.7
ボアソン比 μ	0.3	補剛板全体の幅厚比パラメータ R_F	0.33	< 0.5

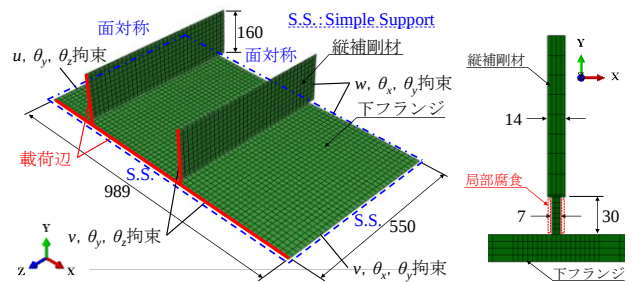


図-3 解析モデル(単位:mm) 図-4 局部腐食(単位:mm)

表-2 初期不整

初期たわみ		残留応力	
補剛板全体	$L/1000$	下フランジ	$\sigma_y, -0.3\sigma_y$
縦補剛材間の板パネル	$b_f/150$	縦補剛材	$\sigma_y, -0.2\sigma_y$
縦補剛材	$h/100$		

部における腐食(以下、局部腐食)が耐荷力に及ぼす影響も検討した。腐食範囲は、図-4 に示すように縦補剛材の付け根から 30mm とし 50%の減肉を想定した。

3. 解析結果と考察

(1) 減肉率と耐荷力の関係

図-5 に降伏荷重 P_y で無次元化した耐荷力(最大荷重) P_u と下フランジおよび縦補剛材の減肉率の関係を示す。減肉率の組合せが 40%程度までの範囲では $P_u/P_y > 1$ であり降伏により耐荷力が決まり、それを超える範囲では $P_u/P_y < 1$ となり、座屈により耐荷力が低下している。図-6 に健全時と下フランジ 50%減肉時の最大荷重時における面外変位図を示す。下フランジ 50%減肉時は、

$R_R=0.75(>0.5)$ と道路橋示方書における補剛板の局部座屈に対する規定²⁾のいずれも満たしておらず、縦補剛材間の下フランジの面外変形が卓越し、板パネルの座屈により耐荷力が低下した。

また、図-5では縦補剛材の減肉率が高くなると耐荷力が低下しているが、これは図-7より、縦補剛材の幅厚比パラメータ R_S が大きくなることで耐荷力が低下したと考えられる。なお、これは、 γ_1/γ_{lreq} が小さくなり耐荷力が低下したとも考えられるが、 $\gamma_1/\gamma_{lreq}>1$ は満たしており、柱モデルアプローチにおけるT型柱の細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ は、縦補剛材50%減肉時で $\bar{\lambda}=0.2$ 程度であることから剛比による影響ではないと考えられる³⁾。以上より、板パネルが座屈しない範囲において、 $R_S>0.7$ では、 $\gamma_1/\gamma_{lreq}>1$ を満たしていたとしても縦補剛材の座屈により耐荷力が低下すると考えられる。

(2) 局部腐食が耐荷力に及ぼす影響

ソリッド要素を用いた解析における、健全時、局部腐食、縦補剛材一様減肉時の荷重-圧縮変位関係を図-8に示す。なお、局部腐食と縦補剛材一様減肉時の減肉量は同じである。減肉量が同じ場合、局部腐食の方が耐荷力は低くなるものの、ほとんど差は見られなかった。これは、縦補剛材の端部がダイヤフラムによって支持されており、腐食による縦補剛材付け根の剛性低下の影響が顕著に表れなかったためと考えられる。

(3) 補強方法の検討

内面からの施工で完結する補強方法として、補強部材を縦補剛材に高力ボルトで添接する当て板補強を検討した。下フランジ50%減肉時を対象に、補強後の断面積が健全時と等しくなるよう補強した解析モデルを図-9に、その断面図を図-10に、健全時の耐荷力 P_u で無次元化した荷重-圧縮変位関係を図-11に示す。補強後の耐荷力は健全時近くまで回復するものの、下フランジにおいて弾性座屈が生じるため、健全時の耐荷力 P_u まで回復させるには、補強後の断面積を健全時以上に増やす必要がある。

4. まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す。

- 1) 腐食によって縦補剛材が座屈し耐荷力が低下するため、 R_S が0.7を下回るよう補強する必要がある。
- 2) 縦補剛材の局部腐食が耐荷力に及ぼす影響は、縦補剛材の端部がダイヤフラムに拘束されているた

め小さいと考えられる。

- 3) R_R が大きく、弾性座屈が生じる場合、補強により健全時の耐荷力 P_u まで回復させるためには、断面積を健全時以上にする必要がある。

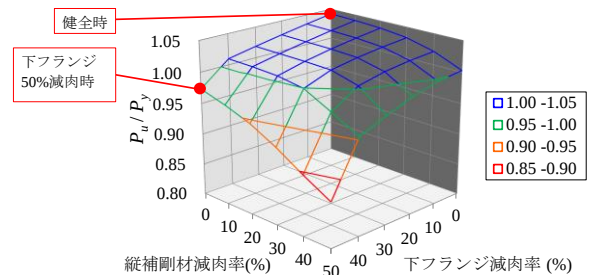


図-5 減肉率と耐荷力の関係

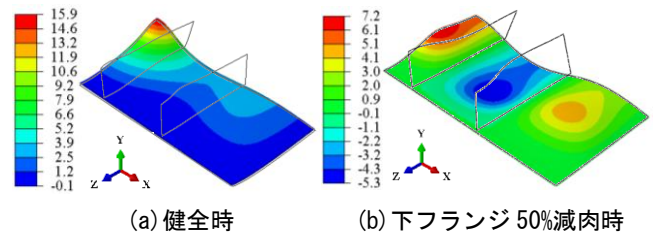


図-6 下フランジ面外変位図(変形倍率:10倍,単位:mm)

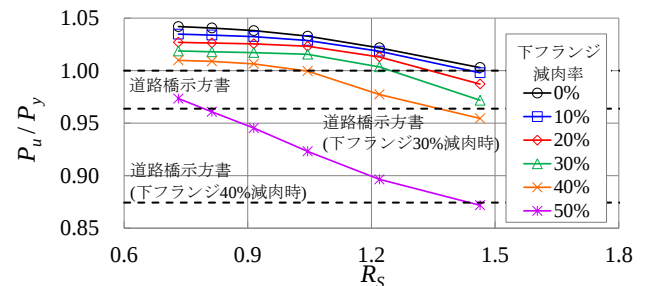


図-7 R_S と耐荷力の関係

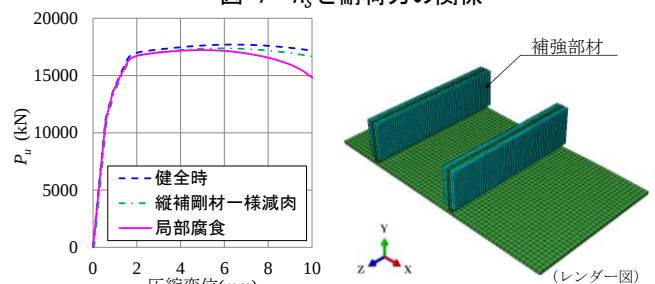


図-8 荷重-圧縮変位関係

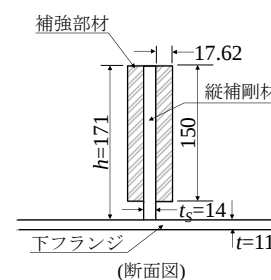


図-10 補強時断面図

図-9 補強時解析モデル

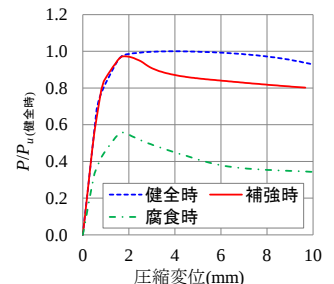


図-11 荷重-圧縮変位関係

<参考文献>

- 1) 森田卓夫, 高田佳彦: 阪神高速15号堺線付近における鋼製フーチング調査報告, 土木学会第71回年次学術講演会公演概要集, CS6-015, pp.29-30, 2016.9.
- 2) (社)日本道路協会: 道路橋示方書(I 共通編・II 鋼橋編)・同解説, 2012.3.
- 3) 土木学会鋼構造委員会 座屈設計ガイドライン改訂小委員会: 座屈設計ガイドライン改訂第2版[2005年版], 2005.10.