

内面が腐食した鋼箱型断面部材の耐荷力評価と補強方法に関する基礎的研究

大阪市立大学大学院 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、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。その補強に際し、外面が防護コンクリートに覆われているため、内面からの補強方法の開発が求められている¹⁾。鋼製フーチングは、格子状に組まれた鋼箱型断面部材から成り、支承を介して支持されている。

底面の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り圧縮力が作用することを踏まえ、本研究では中間支点部に着目して FEM 解析を実施し、残存耐荷力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

図-1 に中間支点上断面を、表-1 に機械的性質と断面諸元を示す。解析には Abaqus6.14 を用いた。解析モデルは図-2 に示すように、中間支点部を自由物体として取り出し、両端部に設計荷重に相当する断面力としてせん断力と曲げモーメントを作用させた。支点上ダイアフラムと隣接するダイアフラム間はシェル要素を用い、その他は梁要素を用いてモデル化した。断面力は弧長法を用いて増加させる。境界条件は支点上ダイアフラムの位置を単純支持とし、支点上ダイアフラムとウェブは、それぞれ支点上補剛材と防護コンクリートによって拘束されているため、面外変位を拘束した。梁要素は 20 分割、シェル要素は縦補剛材を高さ方向に 10 分割、その他は縦補剛材間の板パネルを 20 分割とする要素分割を行った。応力-ひずみ関係はバイリニアとし、ひずみ硬化係数は $E/100$ とした。

3. 解析ケース

表-2 に解析ケースと解析結果を併せて示す。腐食部位は下フランジと底面の縦補剛材とし、減肉率は 50% を想定した。補強は、下フランジのみを 50%減肉するケース(D-LF50)を対象に、当て板補強を検討した。

補強部材の寸法は、高さ 150mm、板厚は補強後の断面積が健全時と等しくなるように調整し、長さは縦補剛材長さの 0.75 倍(R-LF50-75)および 1.00 倍(R-LF50-100)とした。補強部材は縦補剛材と剛結し、支点上ダイアフラムと接するようにモデル化した。R-LF50-100 では、補強部材端部と梁要素を結合せず、離間 10mm を設けた。なお、設計における断面 2 次モーメントは、健全時よりも補強時の方が大きい。

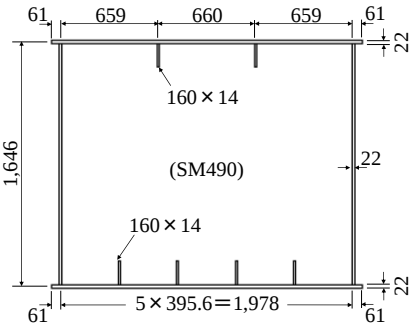


図-1 中間支点上断面 (単位：mm)

表-1 機械的性質と断面諸元

機械的性質		断面諸元	
降伏点 σ_y (N/mm ²)	315	フランジプレートの有効幅 (mm)	722
弾性係数 E (N/mm ²)	200,000	断面2次モーメント I (mm ⁴)	4.433×10^{10}
ポアソン比 μ	0.3	縦補剛材間の板パネルの幅厚比パラメータ R_R (下フランジ)	0.38

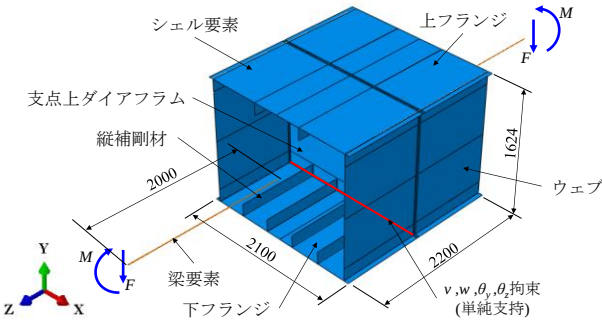


図-2 解析モデル (単位：mm)

表-2 解析ケースと解析結果

解析ケース	減肉率 (%)		設計荷重倍率 α	
	下フランジ	縦補剛材	非線形開始点	耐荷力
健全時 I	-	-	2.99	4.30
腐食時	D-LF50	50	2.80	4.11
	D-LS50	-	2.97	4.19
	D-LFLS50	50	2.79	4.00
補強時	R-LF50-75	50	2.53	4.19
	R-LF50-100	50	2.85	4.35

キーワード 箱型断面部材、負曲げ、耐荷力、座屈

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 TEL&FAX 06-6605-2765

4. 健全時および腐食時における耐荷力評価

図-3 に設計荷重倍率 α と健全時において $\alpha=1$ となる時の平均曲率で無次元化した平均曲率 $\phi/\phi_{\alpha=1}$ の関係を示す。設計荷重倍率 α とは、支点反力を設計断面力で無次元化した値であり、図中の○は耐荷力を、●は非線形開始点を、◆は局部座屈発生時を表す。荷重の低下が見られなかったことから、耐荷力は図-4 に示すように中間支点上断面の有効部分が塑性化した時とし、図-3 に示すように初期剛性と塑性域の傾きから求めた。

表-2 より健全時 I の耐荷力は $\alpha=4.30$ であり、設計荷重の 4 倍以上の耐荷力を保有している。これは、竣工図を参考にモデル化したため、設計断面より底面の縦補剛材本数が多く、耐荷力に十分な余裕が生じたと考えられる。また、計算における全塑性モーメント時の設計荷重倍率 $\alpha=3.90$ を解析結果が上回った理由として、縦補剛材付近のフランジプレートが、有効幅の算出に含まれていないことが考えられる。

下フランジと縦補剛材を 50% 減肉するケース (D-LFLS50) では、耐荷力は $\alpha=4.00$ と、健全時と比べ約 7% 低い結果となった。下フランジを 50% 減肉するケース (D-LF50, D-LFLS50) では、図-5 に示すように、曲げモーメントが大きくなる中間支点上付近において、縦補剛材間の下フランジで局部座屈が発生した。しかし、図-3 からわかるように、局部座屈が全体の応答に及ぼす影響は小さく、耐荷力が大幅に低下することはない。

5. 補強方法の検討

補強時の耐荷力は表-2 より、R-LF50-100 では $\alpha=4.35$ と健全時以上の耐荷力が得られたものの、R-LF50-75 では十分な補強効果が得られなかった。図-6 に示すように、縦補剛材端部はダイアフラムによって変形が拘束され高い応力が発生し、R-LF50-75 では R-LF50-100 に比べ広範囲で塑性化したため、十分な補強効果が得られなかったと考えられる。

6. まとめ

- 1) 健全時には、設計荷重の 4 倍以上の耐荷力を保有していることが明らかになった。
- 2) 中間支点上付近において、縦補剛材間の下フランジパネルに局部座屈が生じて、全体の応答に及ぼす影響は小さく、耐荷力は大幅に低下しない。
- 3) 中間支点とは反対側の縦補剛材端部まで補強する場合、高い補強効果が得られた。

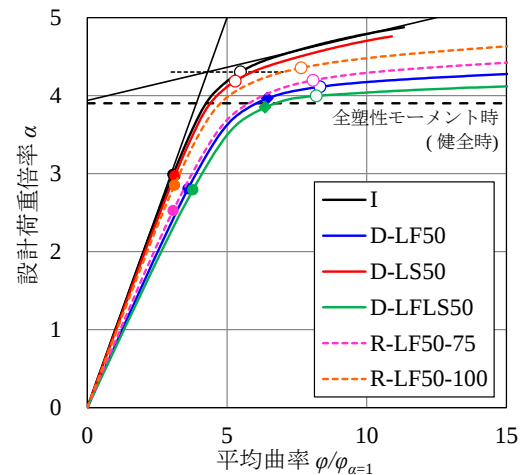


図-3 設計荷重倍率 α - 平均曲率 $\phi/\phi_{\alpha=1}$ 関係

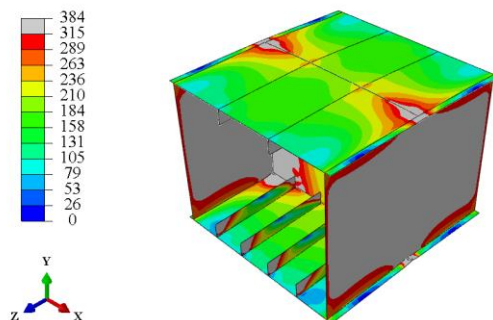


図-4 Mises 応力コンター図

(I, 耐荷力時, 変形倍率: 5 倍, 板厚中心, 単位: N/mm^2)

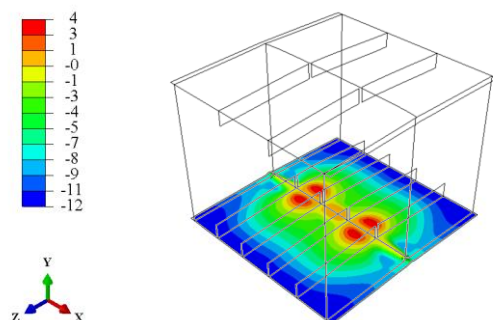
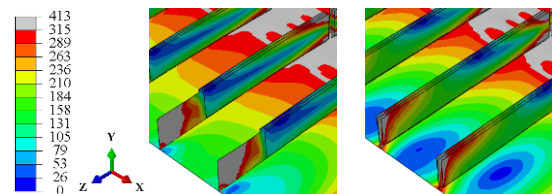


図-5 下フランジの面外変位図

(D-LF50, 耐荷力時, 変形倍率: 5 倍, 単位: mm)



(a) R-LF50-75 (b) R-LF50-100

図-6 底面の Mises 応力コンター図

(耐荷力時, 変形倍率: 5 倍, 板厚中心, 単位: N/mm^2)

<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.