

鋼箱桁ゲルバー切欠部における亀裂損傷部の溶接補修について

川崎製鉄 正会員 ○熊野 拓志、神田恭太郎

1. はじめに

首都高速 1 号線・鈴が森ランプ付近の上部工は、鋼製連続箱桁で端支点部がゲルバー構造となっている。竣工は昭和 39 年で、架違い部の桁端切欠き構造は、円弧状のコーナー部を有し、かつコーナー部周辺には補剛材が配置されていない。一般的にこのような部位は疲労損傷の発生しやすいことが比較的早期に確認されており¹⁾、当該区間内においても首都高速道路公団の行う定期点検で亀裂が発見された。本論文では、当該区間における亀裂の発生状況、詳細調査などの結果およびそれにもとづく補修・補強対策について報告する。

2. 上部工の諸元と亀裂の発生状況

亀裂が発生している上部工の主な諸元は、次の通りである。

- (1) 支間長：2@30m
- (2) 幅員：7.9m(有効幅員)×上下線
- (3) 形式：鋼連続非合成箱桁
- (4) 主桁断面：5.4×1.2 (幅×高)
- (5) 主要鋼材：SS400
- (6) 床版：RC (t160mm)

亀裂数は架違い部 2 箇所において 3 箇所であり、その位置はいずれも図-1 に示す箱桁ウェブ外面における切欠き円弧部（半径 $R=100\text{mm}$ ）の溶接ビード上（止端部近傍）である。亀裂の表面長さは最大 150mm 程度で、ウェブおよびフランジへの進展は見られない。また、目視では亀裂部の開口変位や発錆は見られない。

当該区間内で確認された同一部位の亀裂発生率としては、架違い部 21 箇所に対して約 7%（ $\approx 3/(21 \times 2\text{web})$ ）となる。なお、亀裂発生位置の上部工構造諸元および施工会社は同一である。

3. 詳細調査と原因の推定

3.1 現場詳細調査

- (1) 亀裂発生箇所の外ウェブの内側は、隣接桁の支承反力を支持するために外ウェブと同一形状の隔壁が 400mm の間隔で配置されており、閉鎖空間となっている。構造寸法が小さいためウェブへのマンホール等の設置は困難である。
- (2) 亀裂が発生した継手の溶接仕様は、製作手順等から考えて外面からの片側すみ肉溶接であると推定した。脚長は竣工図面記載値 7mm に対して実測平均値 7.9mm であるが、亀裂が発生していない同一箇所の実測値 8.8mm と比較すると約 10% 小さかった。円弧部のビードは全体的に凸形状である。
- (3) 表面亀裂の先端部をロータリー型グラインダーで深さ約 1mm づつ研削しながら、磁粉探傷検査により亀裂先端位置を追跡した。その結果、亀裂は溶接ビード外には進展しておらず、内部の先端位置は表面

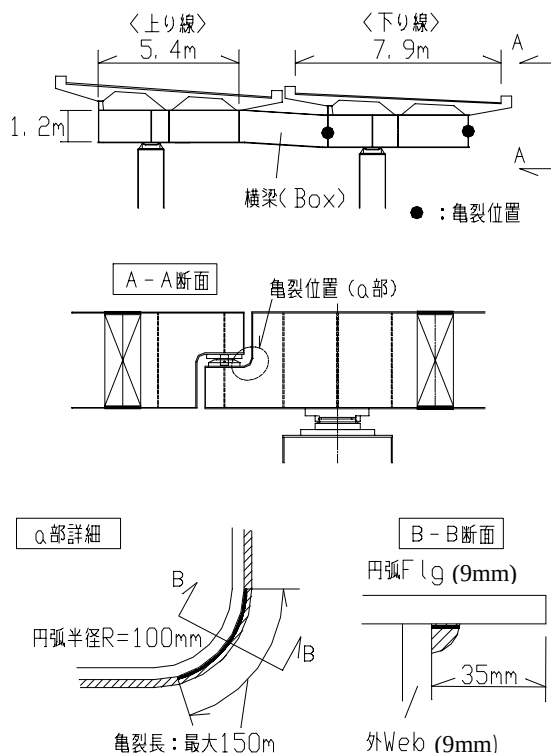


図-1 亀裂発生箇所

から深さ方向に角度約 45° でルート部まで広がっていた。また、円弧フランジとウェブのルートギャップは亀裂先端位置で 0.3mm 以下、円弧中央位置では最大 0.8mm であった。さらに、最大ルートギャップに差金を挿入することによって、(2)で推定した溶接仕様が正しいことを確認した。

- (4) 中ウェブおよび隔壁における溶接継手の健全度を調査した。当該継手部は、図-2 に示す通り裏当て金が配置されているため（竣工図面に記載なし、部分的に外れている箇所あり）、溶接仕様は外面からの部分溶込み溶接であると推定した。溶着部について超音波探傷検査等を行った結果、貫通した亀裂の存在は確認されなかった。

3.2 FEM 解析による切欠き部の応力状態

橋脚より先端側の切欠き構造を対象として、シェル要素の 3 次元 FEM モデルにて線形解析を行った。載荷荷重は死・活荷重（B 活荷重）とし、隣接桁の分は最大支点反力として考慮した。解析結果より、着目する円弧フランジとウェブの接合線直交方向のウェブ表裏面における直応力は、両者とも引張で裏面（内面）側が大きいことから、ウェブには面外曲げが作用していると考えられる。なお、応力値は円弧中央部で最大であった。

キーワード：ゲルバー切欠構造、鋼製箱桁、亀裂損傷、溶接補修、裏波溶接、供用下

連絡先：川崎製鉄㈱ 橋梁・鉄構事業部 橋梁・鋼構造技術部

〒260-0835 千葉市中央区川崎町 1 番地 TEL：043-262-4161, FAX：043-262-4166

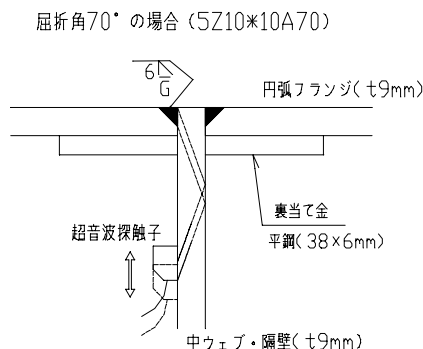


図-2 円弧 Flg と中 Web・隔壁の溶接継手
および超音波探傷検査要領

3.3 亀裂発生原因の推定

詳細調査及び解析の結果より、亀裂の発生原因としては次のことが考えられる。

- ① 円弧フランジとの接合部におけるウェブには板曲げが作用しているため、片側すみ肉溶接では未溶着のルート部が起点となって亀裂が発生しやすい。
- ② 円弧部における溶接脚長は直線部より相対的に小さい。

4. 補修・補強対策

4.1 応急対策

前述の通り、亀裂は円弧フランジまたはウェブへの進展が見られないことから、架違い部が脆性的破壊に至る可能性は低いと考えられるため応急対策は施さなかった。

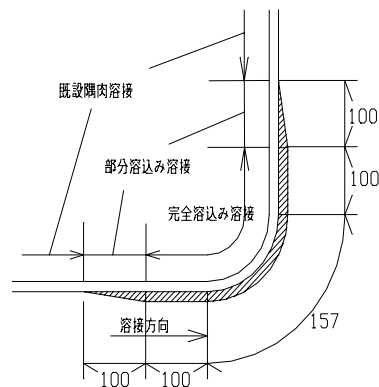
4.2 補修対策

現場溶接と添接による方法を比較検討した結果、次の理由で前者を採用した。

- ① 応力バイパス部材を設置する場合は円弧フランジとの添接が必要になるが、外ウェブからのフランジ突出幅が小さいために添接不可能である。
- ② 部材取付けは外ウェブの外面のみとなるため、添接板補強しても効果が小さい。
- ③ 部材取付けにより、将来的に亀裂先端の状況確認が困難となる。

溶接仕様は、図-3 に示す要領¹⁾にて亀裂を完全に除去した上で外面からの完全溶込み溶接（裏当て材なし）とした。なお、裏波溶接とした場合は、継手の疲労強度に影響を及ぼす裏波ビード形状等の確認および仕上げ施工を行うことができない。そのため実物大の試験体を用いて溶接施工試験（確認事項：開先成形精度、裏波外觀、内部欠陥、最高硬さ、マクロ）を行い、施工要領の妥当性と溶接工の技量を確認することとした。

溶接補修は、高速道路の通行規制を行わずに昼間施工とした。また、桁下空間の大部分が駐車場用地であるため、一般道の一部を規制してベントを設置するこ



＜裏波溶接条件＞

- a) 溶接法（使用材料）
 - ・ 初 層：被覆アーク溶接法(LB52U・3.2φ)
 - ・ 2～4 層：被覆アーク溶接法(LB47A・3.2、4.0φ)
- b) 溶接姿勢：上向き→立向き上進
- c) 開先形状
 - ・ 開 先 角 度：45±10°
 - ・ ルートギャップ：5±2mm
 - ・ ルートフェース：0～2mm
- d) その他³⁾
 - ・ 低温われ防止の予熱は不要だが、赤錆対策として溶接部近傍をガスバーナーで焼く。
 - ・ 高温われ防止およびルートギャップ保持対策として拘束治具を使用する。

図-3 溶接補修要領

とで架違い部における隣接桁側の死・活荷重を仮受け支持することとした。これにより補修部位の死・活荷重応力を低減するとともに、活荷重による開先ルート部の開口変位量や振動を大幅に低減できる。なお、溶着金属の高温割れ発生に影響する開口変位量（許容値0.06mm以下²⁾）については、施工時に変位計を使用して確認した。

4.3 補強対策

溶接補修後に切欠きウェブの円弧中央部・フランジ面から20mm離れた位置において応力頻度を計測した。その結果、円弧法線方向の等価応力範囲は23.9Mpaで継手強度をH等級として算出した1日当りの累積疲労損傷度は 2.03×10^{-6} であり、現状の交通量においては疲労破壊に対して十分に安全であることを確認した。これより、当該箇所においては補強対策を施さなかった（構造的にも補強は困難である）。

5. おわりに

従来の桁端切欠き構造における亀裂補修事例は、多くが鉋桁に対するものであり、箱桁を対象とした事例は少ない。本報告が今後の補修対策の参考になれば幸いである。最後に、本件に関してご指導頂いた首都高速道路公団東京第一保全部設計課の関係各位に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：鋼橋の疲労,(1997.5),206～240 290～298
- 2) 井元、中西、中村、川井、佐藤、西山、山口：「変動応力下の補修溶接棒の開発(第1報)―供用中の補修溶接工―」,土木学会第42回年次学術講演会論文集,(1987)42/I-229,492～495
- 3) (社)日本鋼構造協会：「供用下にある鋼構造物の溶接施工指針(案)」,JSSCテクニカルレポート,No.22,1993