

跨線橋の床版デッキプレートの劣化に対する緊急対策案について

全日本コンサルタント株式会社 ○岡田 康暉
全日本コンサルタント株式会社 奥平 敬

論文要旨

鉄道を跨ぐ歩道橋の特に劣化の進んでいる床版のデッキプレートおよび中詰めコンクリート部について、応急的な対策を行う必要があった。デッキプレートが腐食し完全に中詰めコンクリートが露出している箇所があり、これが軌道内に落下して鉄道の運行に支障をきたす可能性があるためである。そのため、万が一コンクリート塊が落下したとしても軌道内に落ちないように主桁下フランジより上面で防護できる構造を設計した。

キーワード：跨線橋、歩道橋、床版、緊急対策、防護工

まえがき

本橋は鉄道を跨ぐ歩道橋であり、架橋後50年以上が経過している。5年に一度の定期点検により老朽化した箇所の把握を行い、補修対策の要否判定を行っている。そのうち劣化が進み、なおかつ第三者への被害が予想される“床版”に着目し応急的な緊急対策を行うことが求められた。

1. 緊急対策対象箇所

緊急対策は、特に劣化が著しく第三者被害の恐れのある箇所を対象とする。対象箇所は、主桁添接部付近の床版部である。この箇所は、デッキプレートが腐食して鋼材が欠損しており、床版内のコンクリートが露出し、そのコンクリートにひびわれが生じている。そのため、この箇所のコンクリート塊（鋼材を含む）が落下する可能性がある。また、本橋は跨線橋であるため、この箇所のコンクリート塊が軌道内に落下した場合、鉄道の運行に支障をきたすことが懸念される。

以上より、この床版部を緊急対策の対象箇所とした。対象箇所を写真-1～3および図-1に示す。写真-1は床版下面から対象箇所全体を示し、写真-2は写真-1の赤枠の拡大、写真-3は青枠の拡大で、それぞれコンクリートの露出・ひびわれ状況を示す。また、図-1は対象箇所の平面図および断面図である。

この対策検討と同時に、歩行者が劣化した床版部を踏み抜くことがないように歩道橋の通行止めも行っている。

2. 落下想定部位の大きさ

前述した対象箇所のうち、落下する恐れのある部位は、コンクリートにひびわれが見られるデッキプレート凸部の1列分(L=2m)とする。(図-1の赤色で示す部位。)

実際には2mの部位が同時に落下するとは考えにくいいため、安全側の想定であると考えられる。

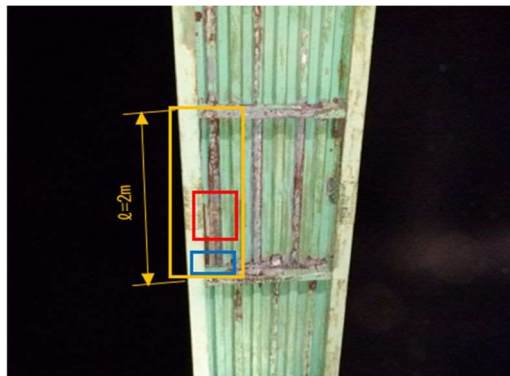


写真-1 対象箇所（全体：床版下面）



写真-2 対象箇所（露出・ひびわれ部拡大：床版支間中央付近）



写真-3 対象箇所（露出部拡大：床版端部）

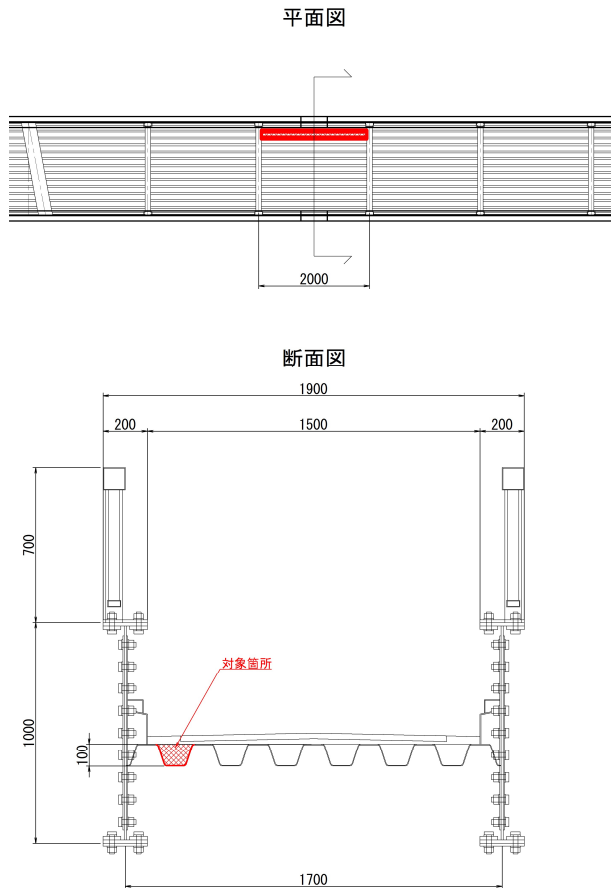


図-1 対象箇所(平面図・断面図)

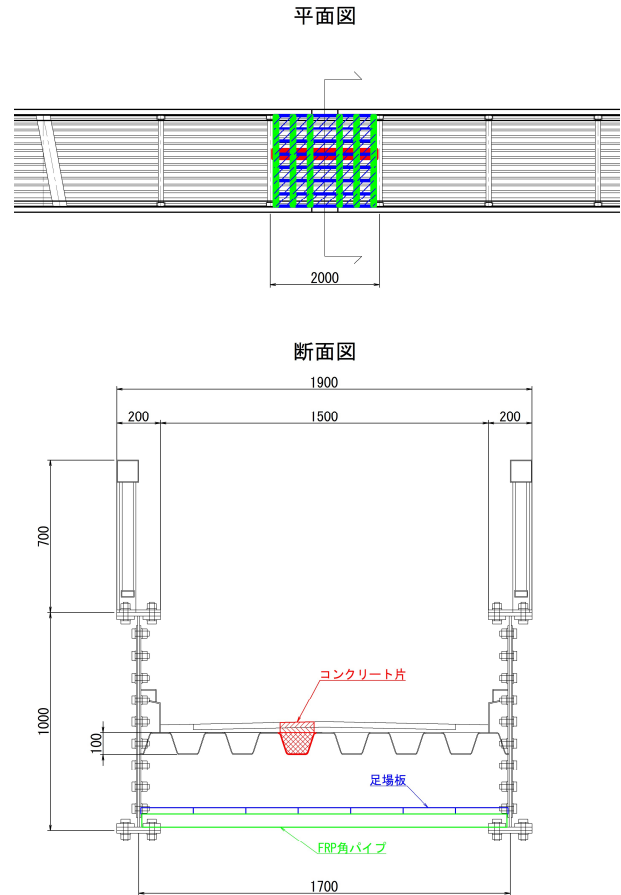


図-2 緊急対策案(平面図・断面図)

3. 対策工法

緊急対策の工法としては、落下する危険のある部位自体を撤去する案も考えられたが、撤去中に他の部位に影響を与える可能性が懸念されたため採用には至らなかった。そのため、危険箇所を取り除くのではなく落下させない工法での対策を行う方針とした。(以下、防護工)

防護工は、図-2に示すように下フランジ上に角パイプを設置し、その上に足場板を敷き詰め、コンクリート塊を軌道内へ落下させない構造とする。また、鉄道の架線があるため防護工は下フランジより上への設置とし、角パイプの材質は鋼製ではなく絶縁体であるFRP製とする。

ここで、実際の対象箇所は図-1に示すように端部だが、計算上は部材にとって安全側(曲げモーメントが大きくなる)の設計となるように中央部付近のコンクリート塊が落下するものとして検討する。(図-2)

4. 検討方法

(1) 落下による衝撃力

衝撃力を規定する適切な設計基準がないため、物体が自由落下する場合の鉛直下向きの荷重を衝撃力として考慮する。

剥落片は自由落下するものとし、高さ h (m) を落下する場合の速度 v (m/s) は、重力加速度 g (m/s²) とすると

$$v = \sqrt{2gh} \quad \dots \text{式(1)}$$

制動時間 Δt (s)、重量 m (kg) とすると、衝撃力 F (kg・m/s²) は

$$F = mv / \Delta t \quad \dots \text{式(2)}$$

足場に接触してから静止するまでに足場が L (m) たわむとすると

$$\Delta t = Lv \quad \dots \text{式(3)}$$

以上より、衝撃力 F は

$$F = m \cdot v^2 / L \quad \dots \text{式(4)}$$

($L = F\delta / 48EI$: 単純梁のたわみ公式)

(2) 強風時の吹上による風荷重

当該地区における大規模な台風の最大瞬間風速が防護工に鉛直上向きに作用すると考えて、この荷重を風荷重として考慮する。

(3) 部材設定

防護工の主要部材である角パイプおよび足場板に加えて下フランジに角パイプを固定する鋼板 (F.B.) および角パ

イブと足場板を固定する番線を総じて防護工とする。F.B.はZ型に曲げ加工を行い、下フランジに溶接する。また、防護工が落下しないように角パイプと横桁をワイヤロープにて結びフェールセーフとする。(図-3)

(4) 照査内容

耐力照査を行う部材は、防護工を構成する角パイプ、足場板および固定部材を基本とする。

5. 検討結果

(1) 衝撃力による足場材の照査

1) 死荷重

- ・コンクリート重量： $m_1=59\text{kg}$
- ・舗装重量： $m_2=35\text{kg}$
- ・デッキプレート重量： $m_3=16\text{kg}$
- ・総重量 ($m_1+m_2+m_3$)： $m=110\text{kg}$

2) 角パイプの耐力照査

- ・角パイプ1本の場合

式(1)～(4)に $m=110\text{kg}$ を代入し、応力度 σ_l を算出する。この応力度と角パイプの許容応力度 $\sigma_a^{(1)}$ を比較し耐力照査を行う。

$$\sigma_l=231.2\text{N/mm}^2 > \sigma_a=118.0\text{N/mm}^2$$

以上より、角パイプ1本では耐力不足となるため、角パイプの本数を増やして検討する。

- ・角パイプ5本の場合

角パイプの本数を5本まで増やすと、許容値を満足する。

$$\sigma_2=103.4\text{N/mm}^2 < \sigma_a=118.0\text{N/mm}^2$$

- ・角パイプ5本+足場板の自重

$$\sigma_3=2.7\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{(2+3)}=106.1\text{N/mm}^2 < \sigma_a=118.0\text{N/mm}^2$$

以上より、足場板の自重を考慮した場合でも角パイプの許容値を満足する。

ただし、支間中央部に添接板があり、中央に角パイプを設置できないため、角パイプは6本とする。

3) 足場板の耐力照査

角パイプ6本の場合に作用する応力度 σ_4 と合板足場板の許容値 $f_b^{(2)}$ を比較し耐力照査を行う。

$$\sigma_4=15.9\text{N/mm}^2 < f_b=16.2\text{N/mm}^2$$

以上より、許容値を満足する。

(2) 浮き上がりの検討

1) 角パイプの耐力照査

風荷重により持ち上がる力 F_2 (風圧力)と角パイプ6本にかかる落下片の衝撃力 F_l を比較する。

$$F_l=30.1\text{kN} > F_2=7.4\text{kN}$$

以上より、角パイプ6本にかかる衝撃力の方が大きい

ため風圧力による耐力照査は省略する。

2) 足場板の耐力照査

足場板1枚にかかる風圧力による応力度 σ_5 と合板足場板の許容値 f_b を比較し耐力照査を行う。

$$\sigma_5=15.4\text{N/mm}^2 < f_b=16.2\text{N/mm}^2$$

以上より、風圧力による照査を満足する。

3) 留め具の耐力照査

- ・ワイヤロープ、番線

風圧力により防護工が浮き上がった場合のワイヤロープと番線の照査(必要本数の決定)を行う。

ワイヤロープに作用する荷重は、風圧力 F_2 から防護工の自重を差し引いた荷重 F_3 とし、番線に作用する荷重は風圧力 F_2 とする。

$$\text{ワイヤロープ (2本)} : 3.3\text{kN} < 3.7\text{kN}$$

$$\text{番線 (36本)} : 0.2\text{kN} < 0.6\text{kN}$$

以上より、ワイヤロープを2本、番線を36本以上使用することとする。

- ・固定金具 (F.B.)

曲げ加工したF.B.の腕の部分片持ち梁と仮定してせん断力 $S_l (=F_2)$ と曲げモーメント M_l の照査を行う。

$$\text{せん断耐力}^{(2)} : 142.8\text{kN (12箇所分)} > S_l : 7.4\text{kN}$$

$$\text{曲げ耐力}^{(2)} : 13.4\text{kN/cm (12箇所分)} < M_l : 26.9\text{kN/cm}$$

以上より、曲げモーメントの照査を満足しないため、曲げ加工するF.B.にリブを設け補強を行う。

$$\text{曲げ耐力} : 672.8\text{kN/cm (12箇所分)} > M_l : 26.9\text{kN/cm}$$

以上より、リブを設けることで曲げモーメントの照査を満足する。

- ・溶接部

F.B.と下フランジとの溶接部(すみ肉溶接)とF.B.とリブ(角溶接)において、引張およびせん断力の照査を行う。

①すみ肉溶接：

$$\text{せん断耐力}^{(2)} : 87.3\text{kN} > F_2 : 7.4\text{kN}$$

$$(24箇所分 : \text{F.B. } 12箇所 \times 2列)$$

②角溶接：

$$\text{引張耐力}^{(2)} : 182.9\text{kN (12箇所分)} > F_2 : 7.4\text{kN}$$

$$\text{せん断耐力}^{(2)} : 103.7\text{kN (12箇所分)} > F_2 : 7.4\text{kN}$$

以上より、引張およびせん断力の照査を満足する。

(3) 管理・点検方法

日常的な管理方法として、合いマークによる遠望目視(角パイプにマーキング)を行い、防護工内の点検は、床版上部にモニタリング孔をあけてファイバースコープにより観察を行う。

(4) 検討図

(1)～(3)で検討した防護工の検討図を図-3に示す。

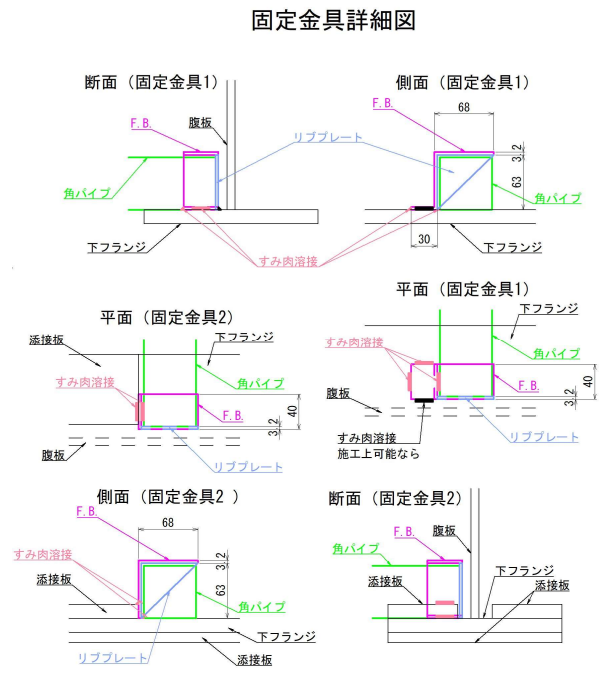
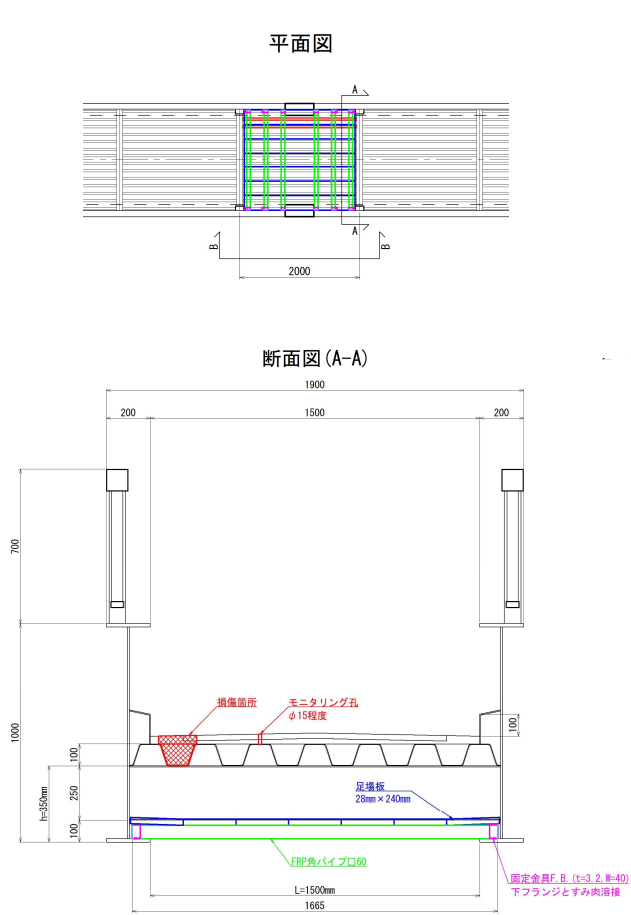


図-3 検討結果図(平面図・断面図)

あとがき

本業務では、コンクリート塊落下による衝撃を考慮した防護工の設計を行った。その成果は、以下のとおりである。

(1) 検討結果

- ・衝撃力について、本来は実験により確認すべきであるが、施工規模が小さいものであったため省略し、防護工のたわみによるエネルギー吸収を考慮した設計を行った。
- ・このため、強度に比べ剛性の小さいFRP角パイプの採用は、鋼製より有利となった。
- ・設計方法として確立されていないものなので、安全側に余裕を持った設計とした。

(2) 今後の展望

- ・今後、同様の事例があれば、衝撃力の仮定や部材設定等設計方法の改善に取り組みたい。

最後に、本業務を行うにあたりご指導やご協力をいただいた、道路管理者および鉄道事業者には感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 宇部エクシモ株式会社：コンポーザバタ，p.7,
<https://www.ube-exsymo.co.jp/products/PDF/frp.pdf>
- 2) 一般社団法人 仮設工業会：足場・型枠支保工設計指針，第4版，pp.6-9，R3.4.1.

