

橋梁のノージョイント化に用いた延長床版基部と 背面地盤の相互作用の数値的検討

Numerical Study of Interaction between Extended Floor Deck for Non-Jointification of a Bridge and Backfill Soil

秋葉翔太*
Shota AKIBA

*構造強度学研究室 (指導教員: 岩熊哲夫 教授)

橋梁ジョイント部分は、伸縮装置の破損や雨水流入によって主桁の劣化等を引き起こす弱点の一つであるため、ノージョイント化が望ましい。本研究では、地盤の作用を考慮した延長床版のノージョイント化の安全性および可能性を、有限要素解析によって検討する。着目するのは床版部や橋梁躯体のみならず、胸壁の高さや地盤反力係数等の背面地盤との相互作用について検討し、床版に生じる応力の大きさ・位置や構造端部の水平変位等について考察し、ひとつのノージョイント化を提案した。

Key Words: Non-jointification, Extended Floor Deck, FEM Analysis, Soil-Structure Interaction

1. まえがき

橋梁のジョイント部は交通荷重により損傷しやすいばかりでなく、桁や支承部の腐食の原因となる雨水や凍結融解剤の流入口にもなる等、橋梁の維持管理上の弱点であることから、これをなくしたノージョイント化が望ましい。これまでの研究¹⁾で、延長床版システム²⁾やダブル埋設ジョイント²⁾を参考にしたノージョイントモデルが提案され、有限要素解析によりその安全性が検討された。しかし、そのノージョイントモデルは、ノージョイント構造の橋梁の挙動に大きな影響をもたらす背面地盤の作用を考慮していない等の課題が残っていた。そこで本研究では、接触問題を考慮した有限要素解析を通じて、橋梁と背面地盤と相互作用を線形ばね要素で表現した上で新たなノージョイントモデルを提案する。

2. 検討方法

(1) 解析モデル

実橋の例として、長篠大橋(橋長 80 m, アーチライズ 11 m, 幅員 10.4 m)を参考にして鋼アーチ橋の有限要素モデルを作成し、これを対象とした。橋梁の一般図を図-1 に示す。また、本研究で検討するノージョイントモデルの概略を図-2 に示すが、延長床版部の厚さは 250 mm, 橋梁側の床版の厚さは 350 mm であり、桁端部周辺で床版厚が変わる構造になる。延長床版下面と補剛桁・縦桁上フランジとの間に挟んだゴム版は、補剛桁・縦桁端部の鉛直上向きの変位を抑えるために設ける。

有限要素モデルは、アーチ橋の横桁とアーチポスト・アーチリブは梁要素とし、補剛桁と縦桁はシェル要素、床版のコンクリートとゴムはソリッド要素、床版中の鉄筋は梁要素で近似した。アーチ橋の境界条件は、アーチ

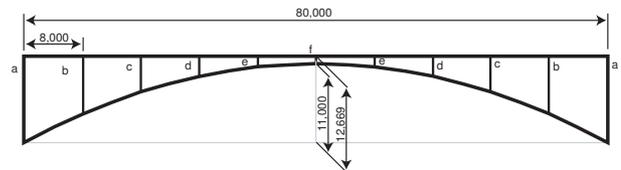


図-1 対称橋梁の一般図

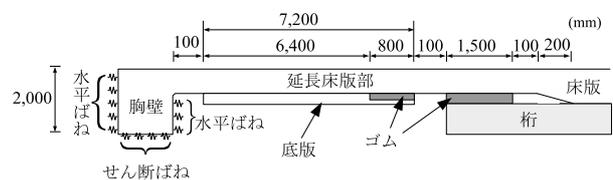


図-2 ノージョイントモデルの概略図

リブ両端のヒンジ支承をモデル化して、橋軸直角方向の回転以外を拘束した。背面地盤との相互作用を考慮するために、胸壁背面と前面・底面には図-3 に示すような 1 自由度の線形ばねを取り付けた。胸壁背面と前面での地盤の作用は圧縮がはたらく場合のみ考慮し、接触解析はしていない。ばね剛性は道路橋示方書³⁾に与えられた地盤反力係数を元に決定する。例えば胸壁背面および前面の水平地盤反力係数 k_h を

$$k_h = \frac{1}{0.3} \alpha E_0 \left(\frac{\sqrt{A_H}}{0.3} \right)^{-3/4} \quad (1)$$

とする。ここで α は地盤反力係数の換算係数であり、本研究では 1 とする。 E_0 は地盤の変形係数 (kN/m^2) であり、本研究では標準貫入試験の N 値を用いて $E_0 = 2,800N$ で推定する。 A_H は荷重作用方向に直交する基礎の載荷面積 (m^2) である。同様に、胸壁底面のせん断

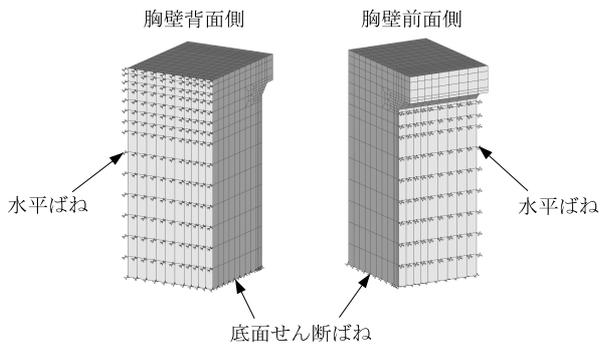


図-3 胸壁の有限要素メッシュ

地盤反力係数 k_s を

$$k_s = 0.3k_v = \alpha E_0 \left(\frac{\sqrt{A_V}}{0.3} \right)^{-3/4} \quad (2)$$

とする。ここで A_V は荷重作用方向の基礎の載荷面積 (m^2) である。胸壁に取り付けたばね要素のもう一方の節点は橋軸方向のみ拘束とした。底版の境界条件は、橋軸方向からみて側面は橋軸直角方向のみ拘束、前面と背面は橋軸方向のみ拘束、底面は完全拘束とした。解析には汎用有限要素構造解析ソフト NX NASTRAN を用い、延長床版と底版の接触を考慮した接触解析を行った。また供用中の安全性を確認することが目的であるため、材料は線形弾性とした。

(2) 安全性の判断基準

床版および胸壁の安全性は、弾性解析のため、コンクリートに圧壊やひび割れが生じないようなコンクリートの圧縮強度および鉄筋の引張強度解析の目安としてノージョイントモデルの安全性を判断する。圧縮側は設計基準強度 30 MPa のコンクリートの、二軸曲げ圧縮の許容曲げ圧縮応力度 11 MPa を限界基準とし、引張側はコンクリートの許容ひび割れ幅から求めた鉄筋の引張強度 87.5 MPa を限界基準とした。

(3) 作用の設定

荷重は死荷重と活荷重 (B 活荷重)、 $\pm 25^\circ\text{C}$ の温度荷重を与える。L 荷重の p_1 荷重を載せる位置は、ノージョイント側に最も近いアーチポストの直上を起点として、L1(0 ~ 10 m), L2(10 ~ 20 m), L3(20 ~ 30 m), L4(30 ~ 40 m), L5(40 ~ 50 m), L6(50 ~ 60 m), L7(60 ~ 70 m), L8(70 ~ 80 m) を基本とした。また、これまでの研究¹⁾で活荷重を橋梁全体に載せた場合よりも半分だけ載せた場合の方が危険側となることが分かっているため、 p_2 荷重はアーチ橋の半分だけに載せた。L1 から L4 までの間は p_2 荷重を 0 ~ 40 m に載せ、L5 から L8 までの間は p_2 荷重を 40 ~ 80 m に載せた。また、橋軸方向から見て p_1, p_2 荷重は対称となるように配置したが、論文本体では偏載の結果も考察している。さらに、L 荷重を載せない荷重パターン L0 の場合も検討した。 $\pm 25^\circ\text{C}$ の温度荷重は、外気温の変化を受けにく

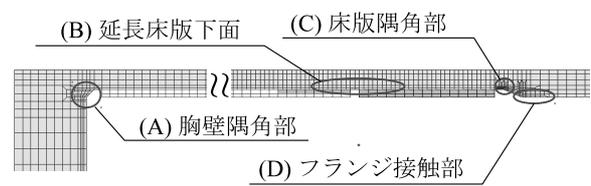


図-4 床版の照査箇所

表-1 地盤の作用を考慮した影響

照査位置	地盤の作用なし	地盤との相互作用を考慮		
		胸壁 2.0 m	胸壁 4.0 m	
床版部	A (圧縮)	10.37 TP-L7	5.23 TP-L7	8.67 TP-L7
	B (圧縮)	12.96 TP-L1	12.42 TP-L1	12.46 TP-L1
	C (圧縮)	13.37 TP-L6	12.73 TP-L6	12.77 TP-L6
最大応力 (MPa)	D (圧縮)	6.98 TM-L2	7.76 TP-L2	7.02 TP-L2
	鉄筋 (引張)	75.86 TM-L1	76.12 TM-L1	75.47 TM-L1
胸壁端部 変位 (mm)	伸び量	固定	7.2	6.9
	縮み量		6.4	5.8

い底版部を除く全ての部材に与えた。

3. ノージョイント化の検討

(1) 地盤の相互作用を考慮した影響

地盤との相互作用を考慮しないモデルは、既存のノージョイントモデル¹⁾と同様に、高さ 2.0 m の胸壁の背面を完全拘束とし、底面を鉛直方向のみ拘束している。胸壁と地盤のばねを考慮した場合の解析結果を表-1 に示すが、表の上段は最大主応力値、下段は温度と荷重パターンの記号であり、TP は温度 $+25^\circ\text{C}$ 、TM は温度 -25°C を表す。照査位置のアルファベット (A ~ D) は図-4 のアルファベットと対応する。

まず胸壁隅角部 (A 点) では、背面地盤との相互作用を考慮することで胸壁が橋軸方向に移動できるようになり、この箇所に生じる圧縮主応力が低減した。次に延長床版下面 (B 点) では、地盤の作用を考慮することで $+25^\circ\text{C}$ の温度荷重を与えた時の延長床版部の曲げ変形が小さくなったことでこの箇所に生じる圧縮応力もやや低減していた。同様に床版隅角部 (C 点) でも、地盤の作用を考慮することで最大圧縮主応力が低減した。一方でフランジ接触部 (D 点) の最大圧縮主応力は -25°C の温度荷重を与えた時の延長床版部の曲げ変形が大きくなり、この箇所に生じる圧縮応力がやや増大したが、限界基準値よりは下回った。一方、鉄筋に生じる最大引張主応力は地盤の作用の影響をあまり受けなかった。地盤の作用を考慮したモデルの各照査位置の圧縮主応力分布を図-

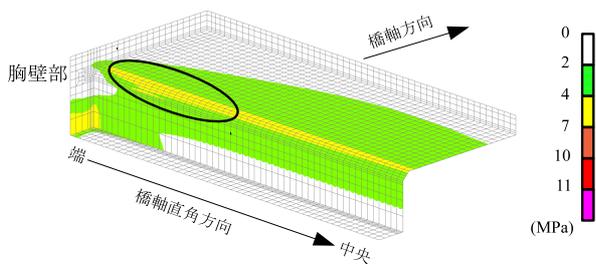


図-5 地盤の作用を考慮した場合の A 点最大時の圧縮主応力分布 (胸壁高さ 2.0 m)

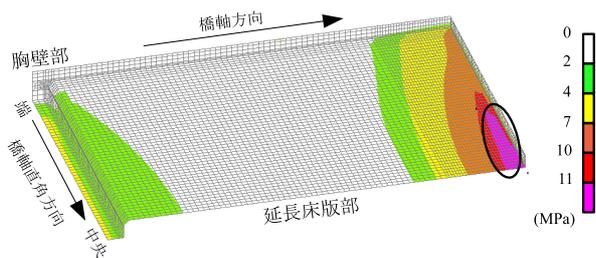


図-6 地盤の作用を考慮した場合の B 点最大時の圧縮主応力分布 (胸壁高さ 2.0 m)

5~8に示す。まとめると、胸壁と地盤の相互作用を考慮することによって A ~ C 点に生じる圧縮主応力が小さくなったことから、地盤の作用があったとしても不利にはならないことがわかった。B 点と C 点では本研究で目安とした許容圧縮応力 11 MPa を上回る圧縮主応力が生じていたものの、その超過量はわずかであり、この結果をカバーできる強度のコンクリート等を使用することで十分改善できる。

さらに、胸壁の高さを 4.0 m に変更した場合の検討結果も表-1 中に示した。胸壁高さを 4.0 m に設定した場合、胸壁高さ 2.0 m の場合と比べて A 点に生じる圧縮応力が大きくなった。これは、胸壁の根入れ深さが深くなることによって胸壁が地盤から受ける反力の作用が強くなるためである。胸壁部から離れた B 点と C 点の圧縮主応力は胸壁高さの影響を受けなかったが、D 点では胸壁が高いと -25°C の温度荷重を与えた時の延長床版部の変形が小さくなり、圧縮主応力が小さくなった。鉄筋の最大引張主応力は、胸壁を高くすると引張応力がやや小さくなった。また胸壁端部に生じる最大水平変位は、胸壁を高く設定すると伸び量・縮み量ともに小さくなった。まとめると、点 B ~ D の圧縮主応力と鉄筋の引張主応力、胸壁端部の水平変位は、胸壁を高く設定しても不利にはならなかった。一方で胸壁を高くすると A 点に生じる圧縮主応力が大きくなるため、胸壁を高くする場合には胸壁隅角部の応力の増加に注意しなければならない。

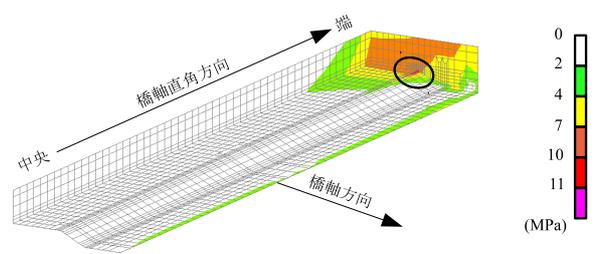


図-7 地盤の作用を考慮した場合の C 点最大時の圧縮主応力分布 (胸壁高さ 2.0 m)

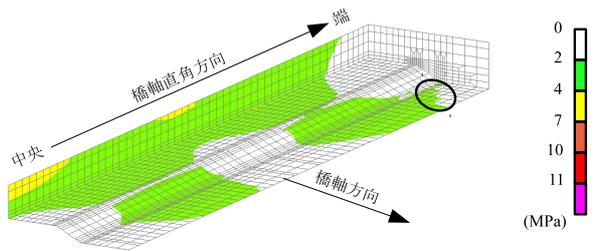


図-8 地盤の作用を考慮した場合の D 点最大時の圧縮主応力分布 (胸壁高さ 2.0 m)

表-2 水平地盤反力係数 k_h の大きさの影響

照査位置	水平地盤反力係数 k_h			
	0 (自由)	式(1)の値	∞ (固定)	
床版部 最大主応力 (MPa)	A (圧縮)	3.93	5.23	20.14
	B (圧縮)	14.78	12.42	12.78
	C (圧縮)	11.71	12.73	13.41
	D (圧縮)	8.15	7.76	7.42
	鉄筋 (圧縮)	78.22	76.12	73.95
胸壁端部最大変位 (mm)	伸び量	15.7	7.2	固定
	縮み量	13.2	6.4	0.3

(2) 地盤反力係数の影響

高さ 2.0 m の胸壁底面のせん断地盤反力係数 k_s は変えず、胸壁背面および前面の水平地盤反力係数 k_h を 0 とした場合と ∞ とした場合の比較結果を表-2 に示す。A 点の最大圧縮主応力は、地盤反力係数が大きいほど大きな圧縮応力が生じる傾向がある。特に胸壁前面を固定した場合には -25°C の温度荷重を与えた時に大きな圧縮応力が生じた。この時の A 点の圧縮主応力分布を図-9 に示すが、これは胸壁前面が固定されることによって、延長床版の熱収縮時に胸壁側に大きな曲げ圧縮が生じている。B 点の最大圧縮主応力も、地盤反力係数が大きいほど大きな圧縮応力が生じていたが、胸壁前面を自

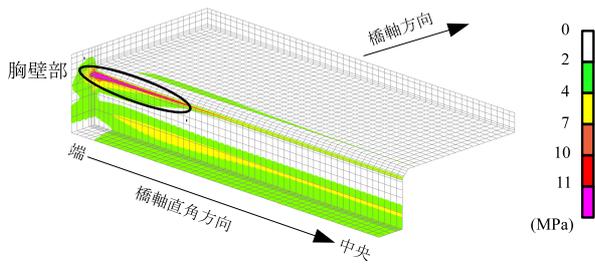


図-9 胸壁前面を固定した場合の A 点最大時の圧縮主応力分布

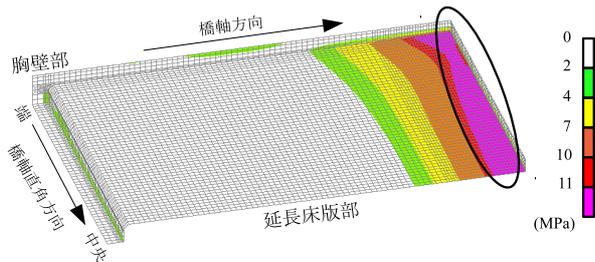


図-10 胸壁前面を自由にした場合の B 点最大時の圧縮主応力分布

由とした場合には -25°C の温度荷重を与えた時に大きな圧縮応力が生じていた。この時の B 点の圧縮主応力分布を図-10 に示すが、これは胸壁前面が自由になったことによって延長床版部の曲げ変形が大きくなったからである。C 点の最大圧縮主応力は地盤反力係数が大きいほど圧縮応力が大きくなるが、D 点の最大圧縮主応力は地盤反力係数が大きいほど圧縮応力が小さくなる。鉄筋の最大引張応力は、地盤反力係数が大きくなると引張応力が小さくなる傾向がある。胸壁端部に生じる最大水平変位は、地盤反力係数が小さいほど伸び量・縮み量ともに大きくなる。特に床版が熱収縮する時には地盤と胸壁の間に最大 13.2 mm の開きができるため、舗装のひび割れや背面地盤の主働崩壊の発生の可能性があり、背面土にジオテキスタイル等の補強が必要である。

地盤反力係数の大きさが床版や桁端部の応力に与える影響を調べるために、まずは、高さ 2.0 m の胸壁背面と前面の水平地盤反力係数 k_h は変えず、胸壁底面のせん断地盤反力係数 k_s のみを 0 とした場合と ∞ とした場合の比較結果を表-3 に示す。A 点に生じる最大圧縮主応力は、地盤反力係数が大きくなるほど圧縮応力が大きくなる傾向にある。B 点に生じる最大圧縮主応力も、地盤反力係数が大きくなるほど圧縮応力が大きくなったが、胸壁底面を自由にした場合には -25°C の温度荷重を与えた時にやや大きな圧縮応力が生じた。C 点に生じる最大圧縮主応力は、地盤反力係数が大きくなるほど圧縮応力が大きくなる。D 点に生じる最大圧縮主応力は、地盤反力係数が小さくなるほど圧縮応力が大きくなるが、底面

表-3 せん断地盤反力係数 k_s の大きさの影響

照査位置		せん断地盤反力係数 k_s		
		0 (自由)	式(2)の値	∞ (固定)
最大主応力 (MPa)	A (圧縮)	5.00	5.23	9.03
	B (圧縮)	12.48	12.42	13.01
	C (圧縮)	12.63	12.73	13.46
	D (圧縮)	7.82	7.62	7.91
	鉄筋 (圧縮)	76.33	76.12	74.49
	胸壁端部最大変位 (mm)	伸び量	7.9	7.2
	縮み量	7.0	6.4	1.1

を固定した場合にはやや大きな圧縮応力が生じていた。鉄筋の最大引張主応力は、地盤反力係数が大きいほど引張応力が小さくなった。

また、胸壁背面・前面の水平地盤反力係数の影響と胸壁底面のせん断地盤反力係数の影響を比較すると、水平地盤反力係数の方が床版に生じる応力の大きさや胸壁端部の水平変位に与える影響が大きいことが分かる。

4. おわりに

数値解析結果から得られた知見を以下にまとめる。

- 胸壁周りの地盤ばねの作用を考慮する場合、胸壁や延長床版部に生じる圧縮主応力は小さくなった。しかし、胸壁の前後の移動を許容するため、胸壁端部に生じる水平変位に注意しなければならない。
- 胸壁を高くした場合、胸壁隅角部に生じる圧縮主応力の増加に注意する必要があるが、延長床版周辺の応力や胸壁端部の水平変位には影響がなかった。
- 背面土に剛な地盤を用いると、胸壁隅角部や延長床版部に生じる圧縮主応力が大きくなる傾向があった。一方で背面土に剛性の小さい地盤を用いた場合には、床版収縮時の延長床版部の圧縮主応力や、胸壁端部の水平変位の増加に注意する必要があることがわかった。

参考文献

- 1) 塚田宗政, 岩熊哲夫, 齊木功: 床版橋台部のノージョイント化に関する数値的検討, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.58A, pp.1084-1097, 2012.
- 2) (財) 高速道路技術センター: 橋梁ジョイント構造の設計・施工に関する技術検討報告書, 2005.
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, I 共通編, IV 下部構造編, 2012.

(2015年2月4日提出)