

橋台アプローチ部のノージョイント化に関する数値的検討

Numerical Study on Non-Jointification of Floor Slab between the Bridge Slab and the Support

塚田宗政*
Munemasa TSUKADA

*構造強度学研究室（指導教員：岩熊哲夫 教授）

The joints of bridges are likely to be damaged by traffic, and are often deteriorated by drainage of rain and thawing agents. Hence non-jointification of floor slab is preferred. We here proposed a non-jointification of the extended floor slab, and examined size and shape of the slab and the support and their materials. Finite element analyses with thermal effect and contact phenomenon between the slab and the support as well as traffic loads could show feasibility of such joint mechanism.

Key Words : Non-Jointification , Extend Floor Slab , FEM analysis

1. まえがき

橋梁のジョイント部は伸縮装置の破損や雨水流入による遊間部下の主桁の劣化等，橋梁の弱点とされているため，ジョイント部を床版や舗装で連結しノージョイント化することは望ましい方向と考えられる．これまで，ダブル埋設ジョイント¹⁾や延長床版システム¹⁾を参考にしたノージョイントモデルが提案²⁾され，有限要素解析によって供用時の安全性が検討されたが，床版コンクリートに生じる圧縮応力が大きく安全性が明確でないこと，有限要素モデルの隅角部に生じる応力集中の評価が妥当でないこと等の問題がある．そこで本研究では，有限要素モデルのメッシュの改訂や隅角部の面取りをモデルに反映することによって解析精度を向上させた上で，床版の桁端部周辺の構造や材料にさらに工夫を加えた場合の安全性を評価し，片側および両側ノージョイント化の可能性について検討する．

2. 検討方法

(1) 解析モデル

長篠大橋（橋長 80m，アーチライズ 11m，幅員 10.4m）の設計データを参考に鋼アーチ橋モデルを作成し，これを解析対象とした．対象橋梁を図-1 に示す．ただし基礎的な検討としてノージョイント構造の床版の挙動を把握するため，舗装や高欄等の付属物やハンチ等は省略した．本研究で検討するノージョイントモデルを図-2 に示すが，床版の桁端部に切り込みを入れてその間にゴムを挟む構造としている．切込部に挟んだゴムは，切込部上側の床版のたわみ変形を妨げずに上側床版を支持するためである．また切込部には隅角部があるが，圧縮応力が生じると予想される隅角部は面取りすることが望ましいことから，図-3 のように，隅角部の面取りを有

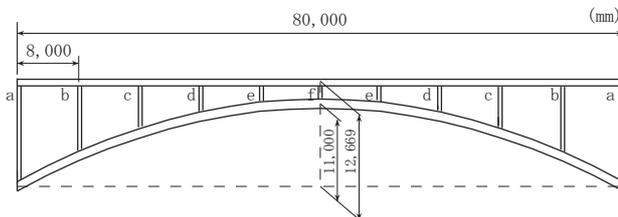


図-1 対象橋梁の一般図

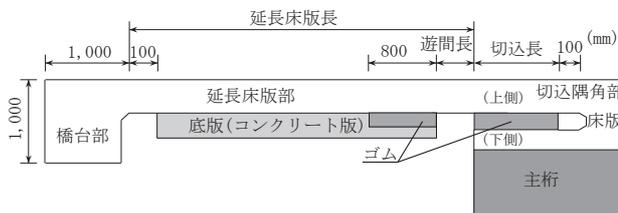


図-2 ノージョイントモデルの概要図

限要素モデルに反映した．なおこれは，既往のノージョイントモデルの隅角部には面取りが施されておらず，解析で得られた圧縮応力の値が大きかったことを踏まえての改良である．

有限要素モデルは，アーチ橋の横桁とアーチリブ・ポストは梁要素，縦桁と補剛桁はシェル要素，床版のコンクリート部分はソリッド要素，鉄筋は梁要素で構成した．アーチ橋の境界条件は，アーチリブ両端のヒンジ支承を再現して，橋軸直角方向の回転のみ自由とした．橋台部の境界条件は，橋台背面は完全拘束，橋台下面は鉛直方向のみ拘束とした．底版の境界条件は，橋軸方向の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，下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，床版と底版の接触等を考慮した接触解析を行った．また供用中の床版の損傷を確認することが主目的であるため，材料は線形弾性とし，材料特性を表-1 に示す．

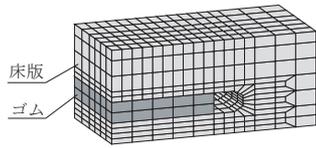


図-3 隅角部の有限要素メッシュ

表-1 使用材料の特性値

	鋼材・鉄筋	コンクリート	ゴム
弾性係数(N/m ²)	2.000 × 10 ¹¹	2.800 × 10 ¹⁰	3.576 × 10 ⁶
ポアソン比	0.30	0.20	0.49
密度(kg/m ³)	7850	2345	1200
線膨張係数(1/°C)	1.2 × 10 ⁻⁵	1.0 × 10 ⁻⁵	1.0 × 10 ⁻⁴

(2) 安全性の判断基準

安全性は、コンクリートに圧壊やひび割れが生じないコンクリートの圧縮強度と鉄筋の引張強度で確認する。その基準は、圧縮側は設計基準強度 30 MPa のコンクリートの許容応力度設計法で定められる許容曲げ圧縮応力度³⁾ 11 MPa を基準とし、引張側は鉄筋のかぶりを 40 mm としたので、コンクリートの許容ひび割れ幅³⁾ から算定した鉄筋の引張強度 87.50 MPa を基準とした。

(3) 荷重と温度変化の設定

荷重は、死荷重と活荷重 (B 活荷重, L 荷重)、±25°C の温度荷重を与えた。L 荷重の p_1 荷重を載せる位置は、片側ノージョイントモデルの延長床版側の橋梁端部を基点にとり、L1(0 ~ 10 m)、L2(8 ~ 18 m)、L3(16 ~ 26 m)、L4(24 ~ 34 m)、L5(46 ~ 56 m)、L6(54 ~ 64 m)、L7(62 ~ 72 m)、L8(70 ~ 80 m) の 8 パターンを基本とした。また、各パターンごとに、 p_2 荷重をアーチ橋全体に載荷する全載モードと、半分だけに載荷する半載モードを検討した。半載モードでは、L1 から L4 までの間は p_2 荷重を 0 ~ 40 m に載荷し、L5 から L8 までの間は p_2 荷重を 40 ~ 80 m に載荷した。温度変化は、外気温の変化を受けにくい底版部分を除く全ての部材に与え、各要素の節点に温度荷重として与えた。

3. 片側ノージョイント化の検討

(1) 床版桁端部の構造検討

既存のノージョイントモデルでは、図-2 に示すノージョイントモデルの延長床版長は 7.4 m、遊間長は 300 mm、切込長は 1.0 m であった。そこで、それぞれの長さを変えた場合に生じる応力の変化について検討する。まず遊間長を 100 mm から 500 mm まで 100 mm 刻みで変えた場合を検討するが、この時に延長床版長は 7.4 m で一定とし、底版長を変えて遊間長を調整した。解析結果を表-2 に示すが、表の上段は応力値、下段は温度 (TP: +25°C, TM: -25°C) と] 荷重パターンの記号であり、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。また、全ての照査位置にお

いて p_2 荷重を半載モードとした場合の方が生じる応力は大きかった。遊間長を短くすると切込隅角部 (D 点) に生じる圧縮応力が小さくなる傾向があるが、一方で床版が切込部に挟まれたゴムと接触する面 (C 点) に生じる圧縮応力が大きくなる傾向がある。よって遊間長の変化が、D 点とその近傍の C 点に生じる圧縮応力の分担量に影響があることが考えられる。遊間部から遠い位置にある橋台隅角部 (A 点) に生じる圧縮応力は遊間長を変えてもほとんど変化せず、延長床版が底版と接触する面 (B 点) は遊間長が短くなると圧縮応力がやや大きくなる傾向にあり、鉄筋は遊間長が短い方が引張応力はやや小さくなる。以上を総括すると、D 点に生じる圧縮応力が減少する点に注目し、既存のモデルよりも遊間長を短くする方が有利であると考えられる。ただし、C 点の圧縮応力が大きくなることに注意すべきである。

次に延長床版長を 7.4 m、6.6 m、5.6 m、4.6 m と変えた場合を検討するが、この時に遊間長は 300 mm で一定とし、底版長と延長床版長を同時に変えるものとする。解析結果を表-3 に示すが、この時も全ての照査位置において p_2 荷重を半載モードとした場合の方が生じる応力は大きかった。延長床版長を短くすると A 点に生じる圧縮応力が小さくなる傾向があるが、B 点は延長床版長を短くすると圧縮応力が大きくなる傾向があり、延長床版長を 4.6 m とした場合には圧縮強度を上回る応力が生じる。C 点、D 点も同様に、延長床版長を短くすると圧縮応力が大きくなる傾向にある。また、鉄筋に生じる最大引張応力も延長床版長を短くすると大きくなる傾向にあり、これらをまとめると、延長床版長を短くすることによって生じる応力が小さくなる箇所は、A 点のみであった。よって既存のモデルのまま、延長床版部の長さは変えない方が床版に生じる最大応力に対しては有利であると考えられる。

最後に切込長を 1.0 m、0.8 m、0.6 m、0.4 m と変えた場合を検討するが、切込隅角部とゴムの隙間は 0.1 m で一定とする。解析結果を表-4 に示すが、この時も全ての照査位置において p_2 荷重を半載モードとした場合の方が生じる応力が大きかった。切込長を短くすると A 点に生じる最大圧縮応力は小さくなる傾向にあり、延長床版長の検討と合わせると、A 点に生じる最大圧縮応力は切込部と延長床版部を合わせた長さが短いほど、生じる圧縮応力が小さくなることが考えられる。B 点に生じる最大圧縮応力は、切込長を短くするとわずかに大きくなる程度である。C 点に生じる最大圧縮応力は、切込長が短くなるほど大きな圧縮応力が生じる傾向にある。さて D 点においては、切込長が 0.8 m の場合に生じる最大圧縮応力が最も小さくなり、D 点には最適な切込長が存在することが考えられる。最後に鉄筋に生じる最大引張応力は、切込長を短くなるほど引張応力は小さくなる傾向にある。D 点の圧縮応力を小さくすることに主眼を置くと、切込長は長目にすべきであると考えられる。

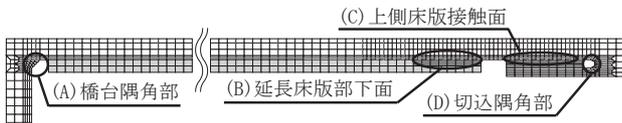


図-4 圧縮応力照査位置

表-2 遊間長の検討結果

照査位置		遊間長 (mm)				
		100	200	300	400	500
最大圧縮 応力 (MPa)	A	11.01 TP, L6	11.00 TP, L6	11.00 TP, L6	10.99 TP, L6	10.99 TP, L6
	B	10.70 TP, L1	10.61 TP, L1	10.49 TP, L1	10.42 TP, L1	10.32 TP, L1
	C	8.59 TP, L1.5	7.93 TP, L2	7.40 TP, L2	7.28 TP, L2	7.26 TP, L2
	D	12.26 TP, L2.5	12.73 TP, L2.5	13.13 TP, L1	13.61 TP, L1	14.06 TP, L1
最大引張 応力 (MPa)	鉄筋	66.97 TM, L1.5	67.60 TM, L1.5	68.00 TM, L1.5	68.44 TM, L1	68.86 TM, L1

表-3 延長床版長の検討結果

照査位置		延長床版長 (m)			
		7.4	6.6	5.6	4.6
最大圧縮 応力 (MPa)	A	11.00 TP, L6	10.40 TP, L6	9.78 TP, L6	9.31 TP, L6
	B	10.49 TP, L1	10.62 TP, L1	10.91 TP, L1	11.25 TP, L1
	C	7.40 TP, L2	7.48 TP, L2	7.76 TP, L2	8.15 TP, L2
	D	13.13 TP, L1	13.22 TP, L1	13.37 TP, L1	13.63 TP, L2
最大引張 応力 (MPa)	鉄筋	68.00 TM, L1.5	69.40 TM, L1.5	71.49 TM, L1.5	73.74 TM, L1

表-4 切込長の検討結果

照査位置		切込長 (m)			
		1.0	0.8	0.6	0.4
最大圧縮 応力 (MPa)	A	11.00 TP, L6	10.93 TP, L6	10.84 TP, L6	10.71 TP, L6
	B	10.49 TP, L1	10.52 TP, L1	10.54 TP, L1	10.62 TP, L1
	C	7.40 TP, L2	7.54 TP, L2	8.34 TP, L2.5	9.42 TP, L2
	D	13.13 TP, L1	12.71 TP, L2	13.31 TP, L2.5	16.38 TP, L2.5
最大引張 応力 (MPa)	鉄筋	68.00 TM, L1.5	66.95 TM, L1.5	65.83 TM, L1.5	64.91 TM, L1.5

(2) 提案するノージョイントモデル

床版桁端部の構造検討の結果を踏まえて、遊間長は100mmに、切込長は0.8mに変更し、さらに切込部に挟んだゴムの弾性係数について検討した。切込隅角部は、下側床版が上側床版に対して相対的に鉛直上向きに変位することで隅角部が閉じるような挙動となり、D点に大きな圧縮応力が生じるため、間に挟んだゴムの弾性係数を変えることで生じる圧縮応力を低減できると考えたからである。解析結果を表-5に示すが、この時も全ての照査位置において p_2 荷重を半載モードとした場合の方が生じる応力は大きかった。切込部に挟んだゴムの弾性係数が表-1の1倍・2倍の時はD点に生じる圧縮応力が圧縮強度を超えているが、5倍・10倍の時は圧縮強度を超える箇所は無かった。解析から、隅角部に挟ん

表-5 切込部に挟んだゴムの弾性係数の比較結果

照査位置		ゴムの弾性係数				
		×1	×2	×5	×5(偏載)	×10
最大圧縮 応力 (MPa)	A	10.94 TP, L6	10.87 TP, L6	10.76 TP, L6	10.90 TP, L6	10.69 TP, L6
	B	10.73 TP, L1	10.74 TP, L1	10.84 TP, L1	10.25 TP, L1	10.90 TP, L1
	C	8.52 TP, L2	8.65 TP, L2	9.54 TP, L2	8.90 TP, L2	10.65 TP, L2
	D	11.89 TP, L2	11.34 TP, L2.5	9.25 TP, L1	11.36 TP, L1	6.93 TP, L1
最大引張 応力 (MPa)	鉄筋	65.84 TM, L1.5	65.85 TM, L1.5	65.73 TM, L1.5	65.06 TM, L1.5	66.10 TM, L1.5

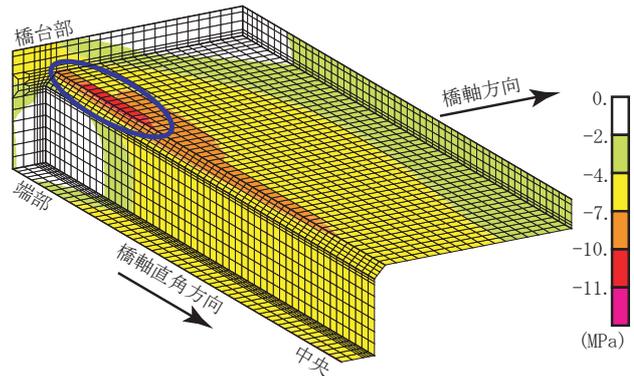


図-5 A点最大時の圧縮応力分布 (ゴム弾性係数×5, 偏載)

だゴムの弾性係数を大きくすることでD点に生じる圧縮応力を小さくできることが確認できたが、一方でC点に生じる圧縮応力が大きくなる傾向にある。ゴムの弾性係数が5倍の時、各照査位置に生じる最大圧縮応力が最小となるので、切込隅角部に挟んだゴムの弾性係数を5倍にしたモデルを片側NJモデルとして提案する。このモデルの各照査位置の圧縮応力分布を図-5～8に示す。

さてこの研究では、延長床版の長さ等の諸言による影響の定量評価によって、ノージョイント化がそもそも可能性を持つか否かを検討することに主眼を置いたので、活荷重は簡単のために橋軸直角方向には対称荷荷に限定したが、活荷重を橋軸直角方向に偏載とした場合についても検討すべきである。そこで、ゴムの弾性係数を5倍としたモデルに活荷重を偏載した。その結果が表-5の「×5(偏載)」の列であるが、D点に生じる圧縮応力が2割ほど増加し、圧縮強度を超える結果となった。しかしながら、切込隅角部に生じる圧縮応力の超過量は僅かであり、材料や構造を再検討することで十分に改善できる程度であると考えられる。

4. 両側ノージョイント化の検討

前章で提案したノージョイントモデルを橋梁の両端に用いた結果が表-6の「橋台固定」の列であるが、橋台背面を完全拘束としているため温度荷重による床版の熱収

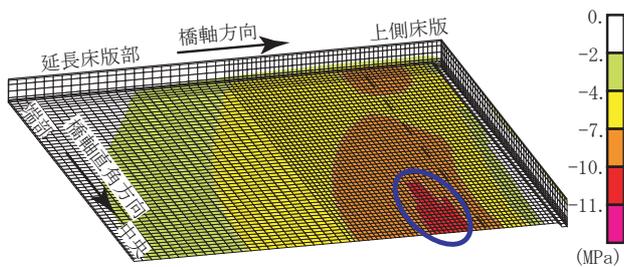


図-6 B点最大時の圧縮応力分布 (ゴム弾性係数×5)

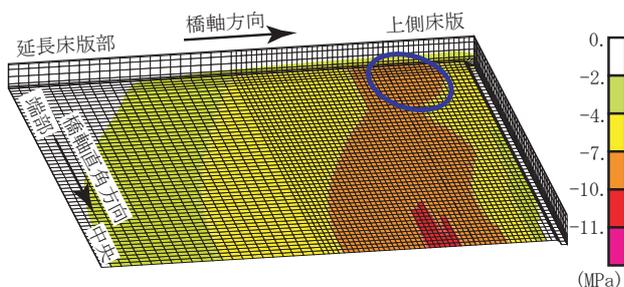


図-7 C点最大時の圧縮応力分布 (ゴム弾性係数×5)

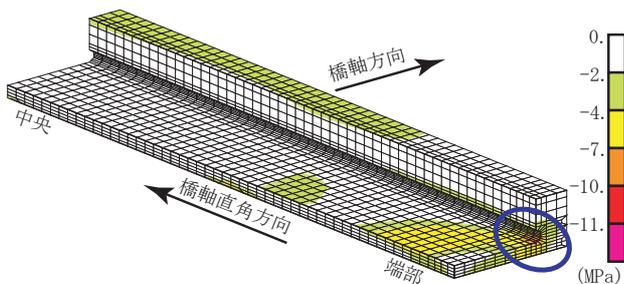


図-8 D点最大時の圧縮応力分布 (ゴム弾性係数×5, 偏載)

縮が拘束され、圧縮側引張側ともに大きな応力が生じる結果となった。このことから両側ノージョイント化の可能性はかなり小さいと考えられる。

そこで橋台背面土を簡易的に弾性材料としてモデル化し、橋台が水平方向に変位できるとした場合を検討した。背面土は砂地盤で比較的柔らかい場合と硬い場合の2種類を仮定して、弾性係数は $8.5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ と $8.5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ の2種類、ポアソン比は共に0.3とした。モデル化する背面土の領域は試行錯誤の後、図-9のようにした。表-6に解析結果を示すが、橋台固定の場合と比較すると、床版に生じる圧縮応力と鉄筋に生じる引張応力は、どちらも片側ノージョイントモデルの解析結果と同じくらいまで小さくなっていることがわかる。しかしながら、背面土の弾性係数を $8.5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ とした場合に、延長床版部下面で圧縮強度を超える圧縮応力が生じる結果となった。また、橋台の境界条件が異なると、延長床版部下面に生じる圧縮応力が最大となる時の温度が変わる傾向にあった。このことから、背面土をモデル化して橋台の水平変位を許容する場合は、背面土の力学的

表-6 両側ノージョイントモデルの解析結果

照査位置	橋台固定	背面土の弾性係数 (N/m^2)		
		8.5×10^7	8.5×10^6	
最大圧縮 応力 (MPa)	A	28.08 TP, L3	6.84 TP, L3	1.97 TP, L3
	B	19.93 TP, L1	10.62 TM, L1	11.88 TM, L2
	C	19.98 TP, L2	7.84 TP, L2	8.82 TM, L2
	D	24.11 TP, L2	8.28 TP, L1	9.18 TP, L2
最大引張 応力 (MPa)	鉄筋	145.48 TM, L1	66.95 TM, L1	64.22 TM, L2
橋台端部 最大変位 (mm)	伸び量 縮み量	FIX	15.6 16.5	18.9 19.9

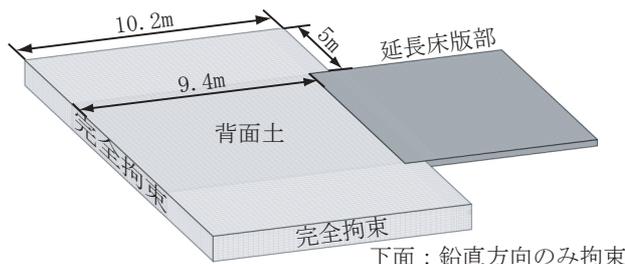


図-9 背面土モデルの領域サイズ

挙動に合わせて、遊間長や切込部の長さ、ゴムの弾性係数等を改めて再検討することが必要である。

5. 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。

- 片側ノージョイントモデルにおいて、材料や床版の桁端部周辺の構造と、床版に生じる応力の大きさや位置との関係が定量的に明らかになった。
- 特に床版桁端部に切り込みを入れてゴムを挟む構造の隅角部は、面取りした構造とする必要があった。
- 以上の結果と工夫によって、片側ノージョイント化が現実的に可能であることを示すことができた。
- 両側ノージョイント化では、背面土を弾性体でモデル化すると、生じる応力レベルを格段に下げることができることがわかった。つまり、両側ノージョイント化では背面土も含めたシミュレーションが必要になることが明らかになった。

参考文献

- 1) (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。
- 2) 土井恵介，岩熊哲夫，斉木功，山田真幸：延長床版のノージョイント化に関する数値的検討，土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集 CD，2010。
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書，構造的照査編，2002。

(2011年2月7日提出)