

橋梁支承の機能低下がコンクリート床版に与える影響

Effect of Functional Decline of Bridge Bearing on Concrete Slab

西 土 隆 幸 株式会社 IHI 検査計測 研究開発センター長 博士 (工学)
福 本 伸太郎 株式会社 IHI 検査計測 研究開発センター研究開発グループ
今 川 峻 株式会社 IHI 検査計測 検査事業部技術部

橋梁の支承の役割は、上部工の荷重を下部工に確実に伝え、温度などによる上部工の伸縮を自由に行えるようにすることである。しかし、腐食やごみなどの堆積によって、支承が正常に機能しなくなることが考えられる。そこで筆者らは、ピン支承を対象にその機能が低下した場合に、温度変動や自動車などの活荷重がコンクリート床版に与える影響を数値解析を用いて検討した。この結果、支承の移動が拘束された場合には、支承付近の床版が引張応力状態になり、ひび割れが発生する可能性があることが分かった。

A simple beam bridge has pinned bearings not to produce bending moment at its both ends. Also to allow the expansion and the contraction of the beam due to temperature fluctuations, one side of the bearings has sliding structure. Because bearings are made of metal, these functions are often decreased by corrosion. Therefore, the authors have examined the effect of the functional decline on the concrete slab of a simple beam bridge using numerical analyses. From these results, it was determined that the occurring tensile stresses due to the temperature and live loads give cracks on the concrete slab near the bearings at the functional declined side.

1. 緒 言

近年、地震を考慮し、あらゆる方向の負荷に抵抗できるゴム支承が開発されている。また、既設橋梁の支承で代表的なものとして、金属製のピン支承がある⁽¹⁾。これらは金属製であることから腐食あるいはごみの堆積によって、本来の機能の低下が考えられる。たとえば、海岸付近の橋台や橋脚上の支承周りに風で海水や砂が運ばれ、それらが堆積する。また、道路表面が凍結するのを防ぐため、塩化カルシウムを主成分とする凍結防止剤が散布される。伸縮装置の排水機能が低下すると、塩分を含む雨水が支承周りに堆積する可能性がある。このような理由によって支承の機能が低下すると、橋全体の構造系も変化する。

支承の腐食状態は、目視検査によって容易に確認できる。しかし、支承の機能低下の程度と橋全体に及ぼす影響を定量的に評価することはできない。そこで、筆者らは、支承機能の低下がコンクリート床版に与える影響を、ピン支承をもつ鋼単純合成桁を対象にした数値解析を用いて確認した。解析結果から、特に支承の移動が拘束された場合には、支承付近のコンクリート床版に引張応力が発生し、ひび割れが発生する可能性があることが分かった。

コンクリート床版のひび割れが大きくなり、鉄筋腐食が

進行すれば、床版の打ち替えが必要になる場合もある。しかし、打ち替えをしても支承機能を回復させなければ、再度、コンクリート床版にひび割れが発生する可能性がある。

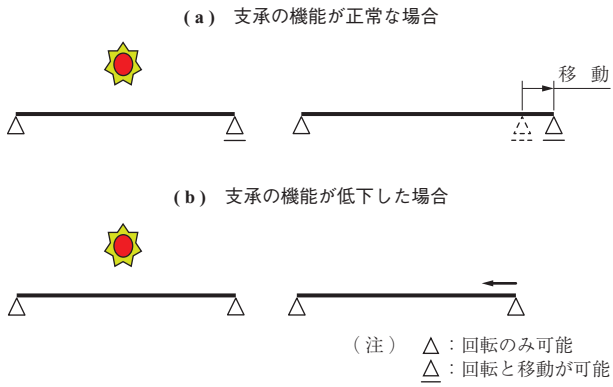
以下にピン支承の機能低下を支承の支持条件を変えることによって再現し、温度荷重、自動車を想定した活荷重を単純桁に載荷させた場合の解析結果について報告する。

2. 支承の機能低下

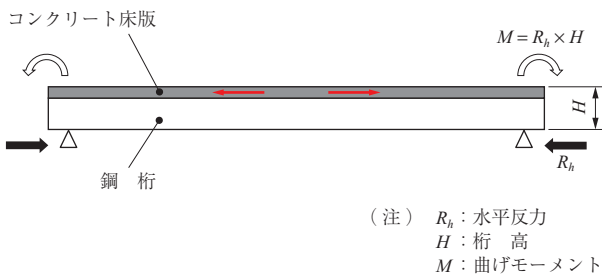
支承は上部工の死荷重や活荷重を橋台や橋脚などの下部工に伝える働きのほか、温度変化などによる桁の伸縮が自由に行える機能も有している。

第1図に日照による梁の伸びと支承の機能を示す。第1図-(a)に示すように、右側ピン支承が正常に移動すれば、梁には応力は発生しない。第1図-(b)に示すように機能が低下し移動が拘束されると、梁理論では圧縮の軸力が発生する。しかし、実際の橋梁では、移動の拘束は桁の下側だけで行われる。第2図に支承の移動機能低下による橋梁への影響を示す。この結果、水平反力(R_h)と桁高(H)による曲げモーメント(M)が桁端部に作用し、コンクリート床版に引張応力が作用する。

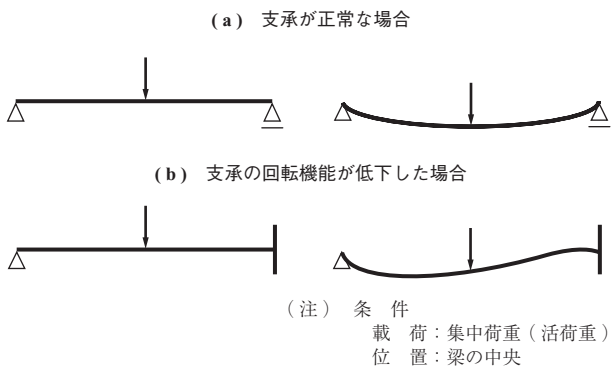
第3図に梁の中央に集中荷重が載荷された場合の梁の



第 1 図 日照による梁の伸びと支承の機能
Fig. 1 Expansion of beams by sunlight and the functions of bearings



第 2 図 支承の移動機能低下による橋梁への影響
Fig. 2 Impact of the degraded mobile function of bearings on the bridge



第 3 図 梁の変形状態
Fig. 3 Status of beam deformation

変形状態を示す。第 3 図 - (a) に示すように右側ピン支承の回転が可能であれば、梁端部に曲げモーメントは発生しない。しかし、第 3 図 - (b) に示すように回転が拘束されると、固定端としての曲げモーメントによって、梁の上面には引張応力が発生する。実際の橋梁では、第 1 図に示す場合とは逆に、コンクリート床版が自由に移動できるので、梁理論から求めた引張応力より小さくなることが予想される。

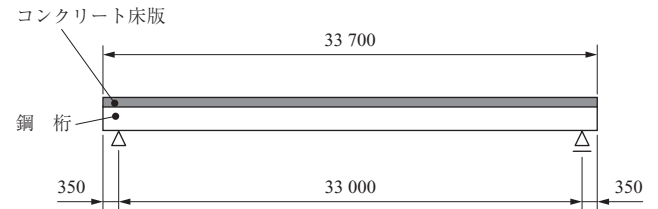
このような引張応力は、設計時点では考慮しておらず、コンクリート床版の一部が引張応力状態になり引張強度以上になると、床版にひび割れが発生する可能性がある。

コンクリート打設後の乾燥収縮や自動車による繰返し荷重などによってコンクリート床版にひび割れが発生し、そこから水が浸入して鉄筋を腐食させると、コンクリートの打ち替えが必要になる場合もある。しかし、支承の機能が低下している場合には、同時に機能を回復されなければコンクリート床版に再度ひび割れが発生する可能性がある。

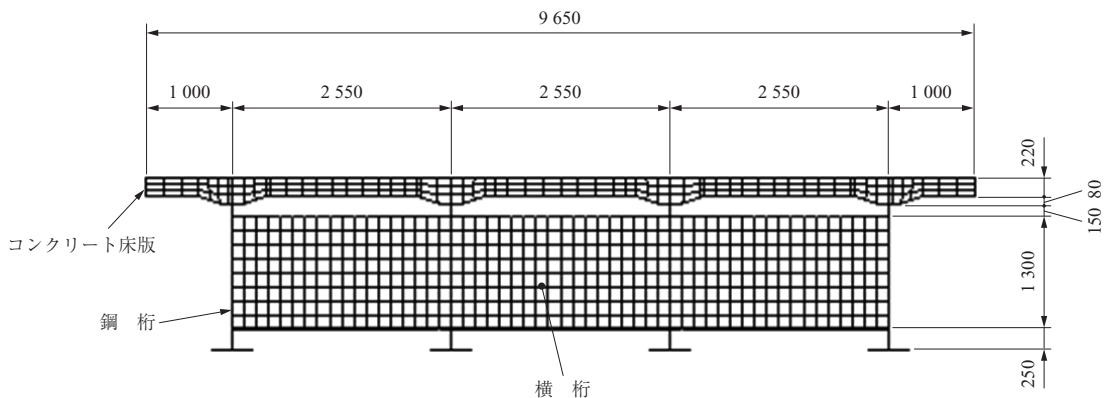
3. 解析方法

3.1 合成桁橋梁の概要

解析対象とした鋼単純合成桁を第 4 図および第 5 図に示す⁽²⁾。橋長 33 700 mm、ピン支承で支持された 4 主桁とコンクリート床版で構成されている。また、横桁は支間



第 4 図 鋼単純合成桁 (側面) (単位: mm)
Fig. 4 Steel simple composite bridge (Side view) (unit: mm)



第 5 図 鋼単純合成桁 (断面面) (単位: mm)
Fig. 5 Steel simple composite bridge (Cross-section view) (unit: mm)

中央から 5 500 mm 間隔に配置されている。左側の四つの支承は回転が可能、右側は回転と移動が可能となっている。

第 5 図に示すように、コンクリート床版は厚さ 220 mm、幅 9 650 mm、ハンチ高さ 80 mm である。解析ではコンクリートの圧縮軟化の挙動は考慮していないが、解析結果の検討のためにコンクリートの圧縮強度は 30 N/mm²、引張強度は圧縮強度の 1/10 と仮定した。コンクリート床版内の配筋状況を第 6 図に示す。主鉄筋は径 19 mm、配力鉄筋は径 16 mm で、それぞれ 150、140 mm 間隔で配置した。

主桁は、高さ 1 700、2 550 mm 間隔で配置した。上フランジは、幅 300 mm、板厚を 10 ~ 21 mm まで変化させた。また下フランジは、幅 480 mm とし、板厚を 9 ~ 36 mm まで変化させた。一般にフランジ幅は発生応力に合わせて変化させるが、ここでは幅を一定とし、板厚を変化させて同じ剛性をもたせている。横桁は、高さ 1 300 mm、フランジ幅 240 mm、厚さ 10 mm とした。

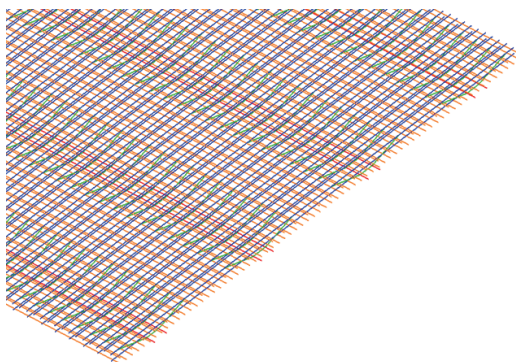
3.2 解析のためのモデル化

コンクリート床版と鉄筋はソリッド要素とバー要素とし、主桁と横桁はシェル要素でそれぞれモデル化した。支承はモデル化せず、支承位置で拘束条件のみを与えた。

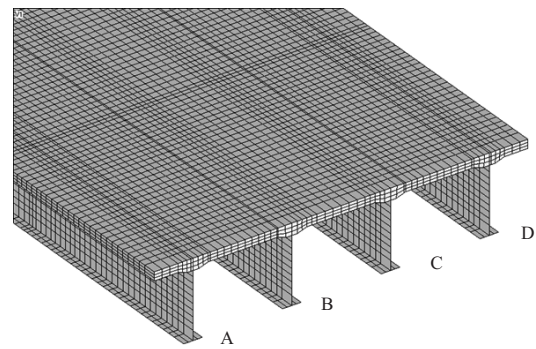
第 7 図に FEM (Finite Element Method) モデルを示す。コンクリート床版と桁の結合は、合成桁であることから同じ節点としてモデル化した。全節点数は約 101 500、全要素数は 98 000 である。また、解析に使用する材料定数を第 1 表に示す。以上の条件で ABAQUS⁽³⁾ による弾性解析を実施した。

3.3 解析ケース

支承機能の低下によってコンクリート床版に与える影響を調べるため、温度荷重と自動車を想定した活荷重を載荷



第 6 図 コンクリート床版内の配筋状況
Fig. 6 Arrangement of reinforcing bars in concrete slab



(注) A ~ D: 支承の名称

第 7 図 FEM (Finite Element Method) モデル
Fig. 7 FEM (Finite Element Method) model

第 1 表 解析に使用する材料定数
Table 1 Material properties for analysis

項目	記号	単位	鋼	コンクリート
ヤング率	E	N/mm ²	2.0×10^5	2.8×10^4
せん断弾性係数	G	N/mm ²	7.7×10^4	1.2×10^4
単位体積重量	ρ	kN/m ³	77	23
ポアソン比	ν	-	0.3	0.2
線膨張係数	α	1/°C	1.2×10^{-5}	1.2×10^{-5}

した。第 2 表に全解析ケースに対する拘束条件を示す。右側の支承 (A ~ D) は第 7 図に示す位置で拘束し、左側の支承は第 4 図に示す鋼単純合成桁の構造で回転を可能とした。

3.3.1 温度荷重

コンクリート床版の発生引張応力は、支承による拘束がないため床版が自由に橋軸方向に伸縮できるので、橋全体が同一温度の方が桁と床版に温度差がある場合よりも大きくなる。参考文献 (4) では、1 日のなかで桁とコンクリート床版が同一温度となる時間帯があることが示されている。

以上のことを考慮し、ケース 1 ~ 3 の解析を実行した。

第 2 表 全解析ケースに対する拘束条件
Table 2 Constraint condition of all analysis cases

荷重	解析ケース	移動 ^{*1}				回転 ^{*1}			
		A	B	C	D	A	B	C	D
温度荷重	1	○	○	○	○	○	○	○	○
	2	×	×	×	×	○	○	○	○
	3	○	○	×	×	○	○	○	○
T 荷重 ^{*2}	4	○	○	○	○	○	○	○	○
	5	×	×	×	×	×	×	×	×
	6	×	×	○	○	×	×	○	○
温度荷重 + T 荷重	7	×	×	○	○	○	○	○	○

(注) A ~ D: 支承の名称

*1 : 第 7 図に示す右側の支承

*2 : 車両総質量 25 t (250 kN) の大型トラックにおける後輪荷重

○ : 可能

×

いずれのケースも、橋梁全体に 20℃の温度荷重を与えた。この温度は、支承の機能が低下した時点からの上昇量である。

(1) ケース 1

支承が正常に作用している状態を考える。右側の支承の移動と回転を可能とした。

(2) ケース 2

右側の 4 支承の移動を拘束した。

(3) ケース 3

部分的に支承の機能が低下することを考慮し、第 7 図に示す右側の支承 C と D の移動を拘束した。

3.3.2 活荷重

第 3 図に示すような活荷重が作用したときにコンクリート床版に最大の引張応力が発生する拘束条件を考え、ケース 4～6 の解析を実施した。床版に発生する応力を照査するための活荷重として、3 組の T 荷重⁽⁵⁾を支間中央に載荷した。第 8 図に T 荷重の載荷状況を示す。

(1) ケース 4

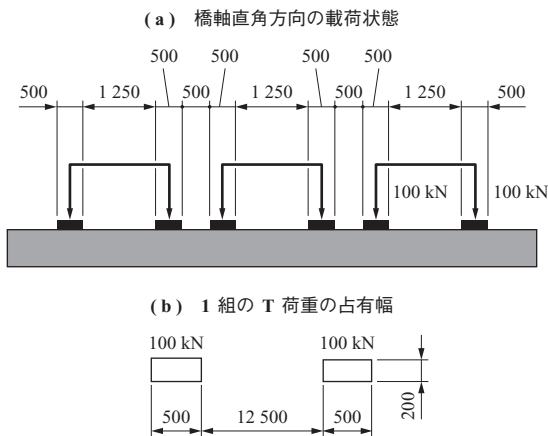
ケース 1 と同様に、支承が正常に作用している状態を考え、右側の支承の移動と回転を可能とした。

(2) ケース 5

支承の回転が拘束されると、固定端となり曲げモーメントが発生する。両端の支承の回転が拘束される場合と片側の支承のみ拘束される場合の固定端の曲げモーメントを比較すると、片側のみ拘束される方が大きくなるので、右側の 4 支承の移動と回転を拘束した。

(3) ケース 6

ケース 3 と同様の理由から、右側の支承 C と D の移動と回転を拘束した。



第 8 図 T 荷重の載荷状況 (単位: mm)
Fig. 8 Loading condition of T-load (unit: mm)

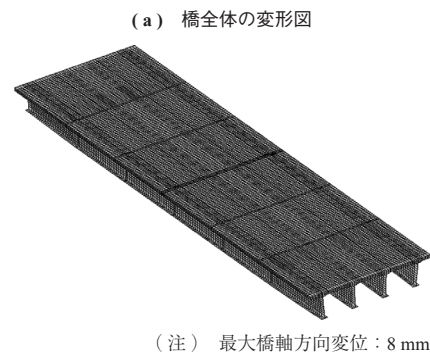
4. 解析結果

4.1 温度荷重

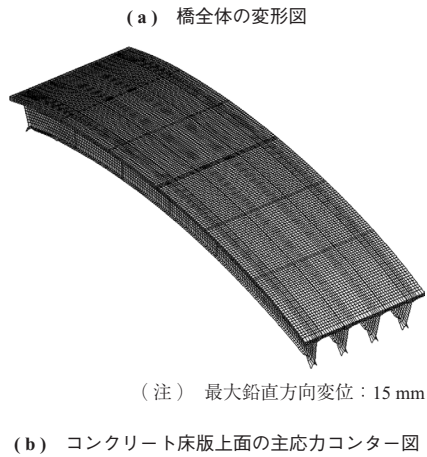
第 9 図にケース 1 の応力解析結果を示す。第 9 図 - (a) に橋全体の変形図、- (b) にコンクリート床版上面の主応力コンター図を示す。これらの結果から、ピン支承が正常に機能しているときには、応力は発生していないことが分かる。

第 10 図にケース 2 の応力解析結果を示す。第 10 図 - (a) に橋全体の変形図、- (b) にコンクリート床版上面の主応力コンター図を示す。このケースは、右側の 4 支承の機能低下によって移動が拘束され、そのときに橋全体が 20℃上昇した状態を表す。また、桁の上側は軸方向の拘束がないので、橋全体が凸に変形する。コンクリート床版上面の支承付近では、各主桁上で約 1.5 N/mm² の引張応力が発生している。

第 11 図にケース 3 の応力解析結果を示す。第 11 図 - (a) に橋全体の変形図、- (b) にコンクリート床版上面の主応力コンター図および - (c) に床版下面に発生する主応力コンター図を示す。右側のコンクリート床版端部はサイン波形のように変形している。移動が可能な支承 B と、拘束されている支承 C の間のコンクリート床版上面では約 2.6 N/mm² の引張応力が発生している。横桁と



第 9 図 ケース 1 の応力解析結果
Fig. 9 Result of temperature analysis in Case 1



第 10 図 ケース 2 の応力解析結果
Fig. 10 Result of temperature analysis in Case 2

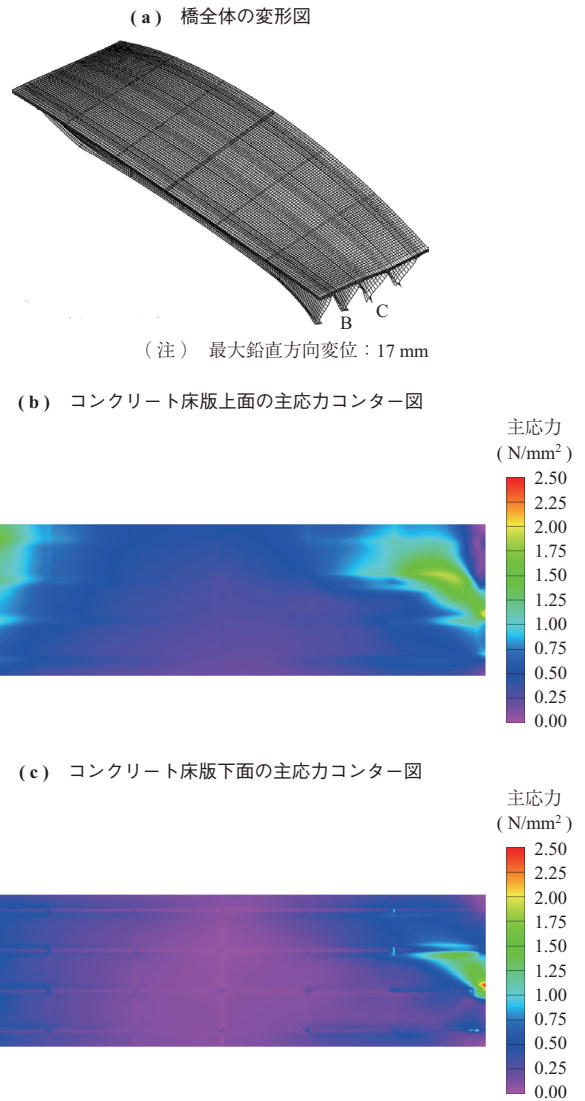
支承間にも斜め 45° の方向に約 2.0 N/mm² の引張応力が発生している。

4.2 T 荷重

ケース 4 では支承は健全であり、橋全体の中立軸は主桁の上フランジ側となるので、コンクリート床版全体には圧縮応力が作用する。

ケース 5 では右側の支承の移動と回転が拘束されているので、支承上に固定端による曲げモーメントが働く。この曲げモーメントによってコンクリート床版に引張応力が発生するが、その大きさは約 0.3 N/mm² と小さい。この理由として、前述したように支承の回転を拘束してもコンクリート床版は橋軸方向に自由に動けることが考えられる。

第 12 図にケース 6 の応力解析結果を示す。第 12 図 - (a) に橋全体の变形図、- (b) にコンクリート床版上面の主応力コンター図および - (c) に床版下面の主応力コンター図を示す。移動が可能な支承 B と拘束されている支承 C 間のコンクリート床版で、上下面に約 1.0 N/mm² の引張応力が作用している。作用方向は、ケース 3 と同様に斜め 45° である。



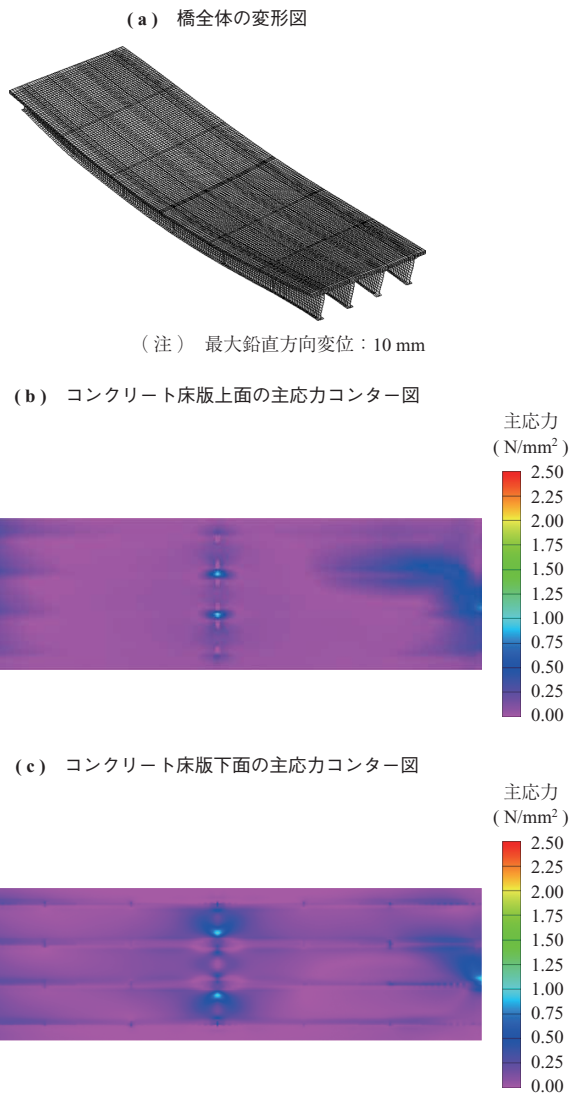
第 11 図 ケース 3 の応力解析結果
Fig. 11 Result of temperature analysis in Case 3

5. 考 察

第 3 表にコンクリート床版に発生する全解析ケースの最大引張応力を示す。すべてのピン支承よりも半分の支承の機能が低下する方が温度荷重、T 荷重いずれも発生引張応力は大きくなる。また、温度荷重の影響の方が T 荷重よりも大きくなる。

参考文献⁽⁴⁾によれば、9月上旬では 14:00 ごろに橋全体の温度が約 32℃になる時間帯がある。たとえば、冬場で橋梁全体の温度が 0℃になったときに支承の機能が低下し、夏場に橋全体が 32℃になったとする。この場合、ケース 3 ではコンクリート床版は解析結果の 1.6 倍となる 4.2 N/mm² の引張応力となり、ひび割れが発生する可能性がある。

実際には、橋梁には温度荷重と T 荷重が同時に作用す



第 12 図 ケース 6 の応力解析結果
Fig. 12 Result of temperature analysis in Case 6

る。そこでケース 7 として、ケース 3 (温度荷重 20℃, 右側の支承 C と D の移動を拘束) に T 荷重を載荷させた場合を新たに解析した。この条件ではケース 3 とほぼ同じ位置で約 3.8 N/mm² の引張応力となり、床版にひび割れが発生する可能性がある。

第 3 表は 20℃ 上昇の温度荷重を与えたときの弾性解析結果である。したがって発生応力の結果から、支承の機能が低下した時点で以下のような温度上昇があると発生応力

が引張強度 (3 N/mm²) 以上となり、床版にひび割れが発生する可能性がある。

(1) 右側の 4 支承の移動を拘束 (ケース 2) し、橋全体が 40℃ 上昇した場合

$$\text{引張強度 (3 N/mm}^2\text{)} / \text{発生応力 (1.5 N/mm}^2\text{)} \times 20^\circ\text{C} = 40^\circ\text{C}$$

(2) 右側の支承 C と D の移動を拘束 (ケース 3) し、橋全体が 23℃ 上昇した場合

$$\text{引張強度 (3 N/mm}^2\text{)} / \text{発生応力 (2.6 N/mm}^2\text{)} \times 20^\circ\text{C} = 23^\circ\text{C}$$

(3) 右側の支承 C と D の移動を拘束し、T 荷重を載荷 (ケース 7)、橋全体が 16℃ 上昇した場合

$$\text{引張強度 (3 N/mm}^2\text{)} / \text{発生応力 (3.8 N/mm}^2\text{)} \times 20^\circ\text{C} = 16^\circ\text{C}$$

この場合には重ね合わせはできないが、ケース 7 を参考にした概略の予測である。

コンクリート床版を同種、同断面として打ち替える場合には、支承の機能の健全性も検討しておく必要がある。支承の機能が回復されなければ、本解析で示したようにコンクリート床版に再度、ひび割れが発生する可能性がある。

6. 結 言

今回の鋼単純合成桁を対象に実施した解析結果から、以下のことが明らかになった。

(1) ピン支承の機能が低下した場合に、橋全体の温度変化によって、コンクリート床版にひび割れが発生する可能性がある。

(2) T 荷重を同時に考慮すると、さらに低い温度変化でも、コンクリート床版にひび割れが発生する可能性がある。

参 考 文 献

(1) 公益社団法人土木学会：鋼構造シリーズ 17 道路橋支承部の改善と維持管理技術 2008 年 5 月 pp. 36 - 41

第 3 表 全解析ケースの最大引張応力
Table 3 Maximum tensile stress of all analysis cases

項 目	温 度 荷 重			T 荷 重				温度荷重+T 荷重		
	1	2	3	4	5	6	7	U	L	
解 析 ケ ー ス	1	2	3	4	5	6	7	U	L	
荷 重 位 置	U	U	U	L	U	U	U	L	U	L
最大引張応力 (N/mm ²)	0	1.5	2.6	2.6	0	0.3	0.9	1.0	3.8	3.8

(注) U: コンクリート床版上面
L: コンクリート床版下面

- (2) 一般社団法人日本橋梁建設協会：合成桁の設計例と解説 1995年4月 pp.1 - 96
- (3) ABAQUS：ユーザーズマニュアル Ver6.10-1 2010年
- (4) 山村浩一, 岩崎正二, 日下 徹, 出戸秀明, 櫻田和志, 高橋 諒：温度日変動に伴う既設鋼合成 I 桁橋の変形挙動の実態と検討 公益社団法人土木学会 東北支部技術研究発表会 2010年 I-26
- (5) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書（I 共通編・II 鋼橋編）・同解説 2012年4月 pp.14 - 15