

斜角の影響を考慮した橋台踏掛版の検討

東洋技研コンサルタント(株) 技術第4部 田代 信雄
東洋技研コンサルタント(株) 技術第4部 濱田 良平
東洋技研コンサルタント(株) 技術第4部 鈴木 仁
東洋技研コンサルタント(株) ○技術第4部 松下 晟也

論文要旨

踏掛版は地震による被災によって橋台背面に段差が生じて路面の連続性を確保できる構造として実績が多く、原則として設置されることが多い。設計手法は、道路橋示方書の参考資料に設計法(案)が示されており、これに準じて設計するのが一般的であるが、斜角が 60° 未満の場合はその影響を別途考慮する必要がある。そこで本研究では、斜角の小さい踏掛版についてFEMによる解析を行い、その影響について検証したものである。

キーワード：踏掛版，斜角，FEM，配筋

まえがき

橋台背面アプローチ部は、橋台と背面側の盛土等との間に位置し、両構造間の路面の連続性を確保するために設ける構造部分であり、橋の安全性や供用性に影響する重要な部分である。基礎地盤や橋台背面アプローチ部が沈下した場合でも、これらの沈下に追従しつつ橋台との一体化を保つことが可能な対策として、踏掛版を設けることが原則とされている。踏掛版の設置幅は車道幅であり、その角度は橋台と道路の交角によって決まるが、交差条件によっては、その交角(斜角)が非常に小さくなるケースがある。

設計手法は、道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 H24.3の参考資料に踏掛版の設計法(案)(以下、道示設計法)が示されており、これに準じて設計を行うのが一般的である。引張側主鉄筋の鉄筋量は、踏掛版の長さの70%を支間とした単純ばりとしての計算で算出される。引張側配筋筋は、斜角を有しない場合は引張側主鉄筋の1/4以上配置することとされているが、斜角が 90° 未満 60° 以上の場合は2/3程度とされており、鉄筋量を増やす必要がある。斜角が 60° 未満の場合のその比率は示されておらず「斜角の影響を別途考慮すること」とされている。

また、コンクリート標準示方書 設計編 2012年では、斜めスラブについて「斜角が 45° 未満の斜めスラブでは、有限要素法、格子解析等を用いた検討を行わなければならない」とされている。

本研究では、斜角 60° 未満を有する踏掛版の引張側配筋鉄筋量について有限要素法(以下、FEM)を用いて検討を行った。さらに、斜角の有無によって引張側主鉄筋・引張側配筋筋の応力度にどのような影響があるかを検討した。

1. FEM解析モデル

(1)解析モデル

解析手法は、3次元非線形FEMを用いた。メッシュは $0.2\text{m} \times 0.2\text{m}$ 程度とした。解析モデルを図-1に示す。厚さ 0.4m 、幅 13.0m 、長さ 5.0m とし、斜角については有り $\langle 33^\circ 40' \rangle$ 無し $\langle 90^\circ \rangle$ の2ケースとした。

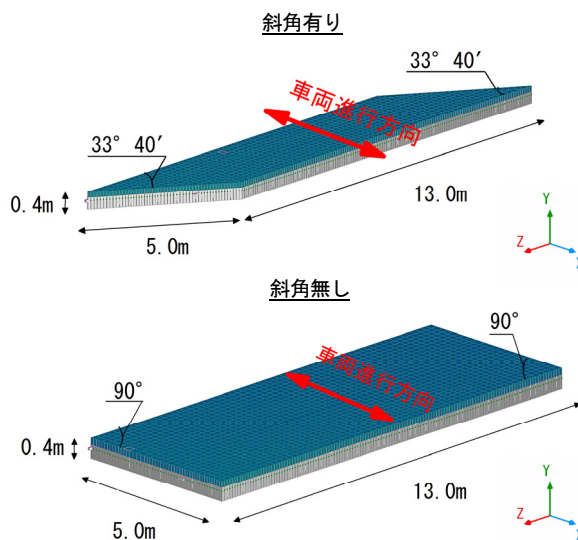


図-1 3次元FEM解析モデル

(2)解析条件

1)配筋条件

道示設計法における配筋条件を表-1に、本FEM解析モデルの鉄筋配置図を図-2に示す。配筋条件は、道示設計法に基づき設定した。引張側主鉄筋は、踏掛版の長さの70%を支間とした単純ばりとしての計算結果による配筋とした。引張側配筋筋及び、圧縮側主鉄筋・配筋筋は表-1に示す引

張側主鉄筋に対する鉄筋量を配置した。斜角有り・斜角無しどちらのモデルにおいても同様の配筋条件とした。なお、本モデルの斜角は33° 40' であるが、道示設計法に示される斜角90° 未満60° 以上の配筋とした。

表-1 道示設計法(案)における配筋条件

斜角	下面(引張側)		上面(圧縮側)	
	主鉄筋	配力筋	主鉄筋	配力筋
無し	単純ばりとしての計算による	引張主鉄筋 1/4以上	引張主鉄筋 1/3以上	引張主鉄筋 1/3以上
有り (※)	単純ばりとしての計算による	引張主鉄筋 2/3程度	引張主鉄筋 1/3以上	引張主鉄筋 1/3以上

※斜角=θ ≥ 60° の場合

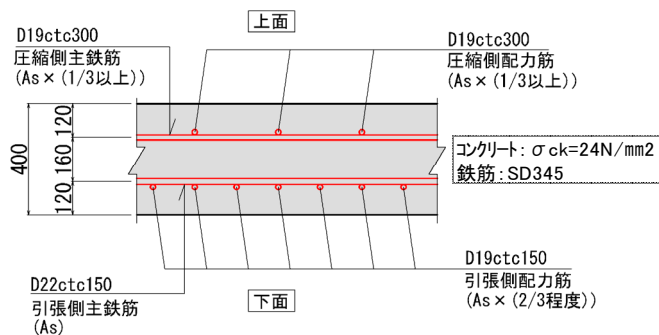


図-2 鉄筋配置図

2) 支点

道示設計法と同様に単純ばりモデルとし、支間長は踏掛版の長さの70%である3.5m(L=5.0m×0.7)とした。支点モデルを図-3に示す。

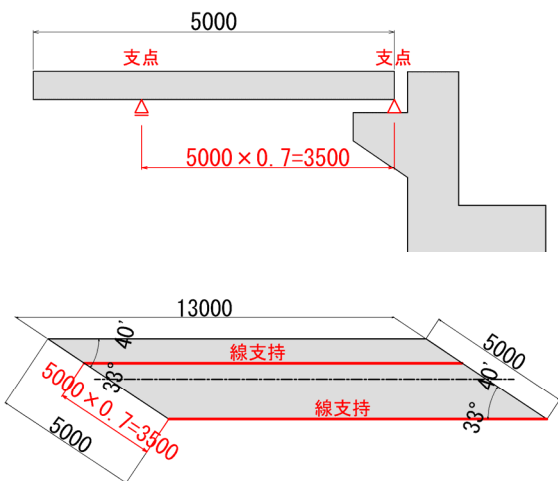


図-3 支点モデル

3) 荷重条件

死荷重・活荷重の荷重条件は次の通りである。

死荷重は踏掛版上面一様にアスファルト舗装(γ=22.5kN/m³, t=0.19m)を想定した。踏掛版の自重は鉄筋コンクリート(γ=24.5kN/m³)とした。

活荷重は道示設計法と同様にT荷重を分布荷重として載荷した。荷重値は式(1)に基づいて算出し、載荷幅は図-4の通り舗装厚を考慮した幅とした。載荷位置は図-5に示す通り、支間中央に分布荷重とした。

$$wL = \frac{2 \cdot T \cdot (1+i)}{2.75 \cdot (0.2+2d)} = 163.009 \quad \text{式(1)}$$

ここに、

wL: 活荷重による分布荷重(kN/m²)

T : T荷重の片側荷重(kN), T = 100.000

i : 衝撃係数, i = 0.300

α : 断面力に乗じる係数, α = 1.000

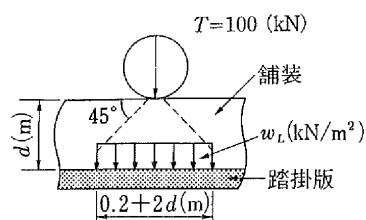
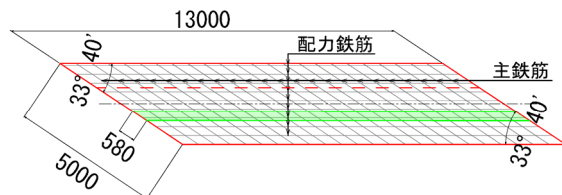
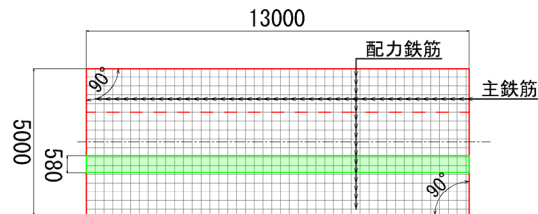


図-4 活荷重載荷幅

斜角有り



斜角無し



□ : wL=163.009 (kN/m²)

図-5 活荷重載荷位置

2. FEM 解析モデルの妥当性確認

FEM 解析モデルの妥当性確認のために、引張側主鉄筋の応力度を対象とし検証を行った。検証方法は、1. FEM 解析モデルで設定した斜角無し解析モデル(以下、当初モデル)を用いて、FEM 解析と道示設計法の比較とした。結果として、道示設計法「163.009kN/m²」に対して FEM 解析「18.187kN/m²」と 11.2%の応力度であり、大きく異なる結果となった。

このため、解析モデルを次の通り変更し、検証を行った。

(1) FEM 解析モデルの変更

下記2点に着目し変更した解析モデルによる検証を行った。

- ①圧縮側鉄筋(主筋・配力筋)・引張側配力筋を除外する
道示設計法では、圧縮側鉄筋(主鉄筋・配力筋)、引張側配力筋が無視されているが、本解析モデルではそれらを考慮した解析となっている。道示設計法と同様に引張側主鉄筋のみを考慮したモデルとして検証する。
- ②①に対してコンクリートの断面下半分を除外する
道示設計法では、コンクリートの引張抵抗が無視されているが、本解析モデルでは考慮した解析となっている。道示設計法と同様に引張側のコンクリートを除外し検証する。

(2) 解析結果

解析結果を表-2に示す。モデル①は、当初モデルと比較し、引張側主鉄筋の応力度にほぼ差がないことが確認された。引張側主鉄筋の応力度にその他鉄筋の有無の影響はほぼないと言える。モデル②は、引張側主鉄筋の応力度が道示設計法と同程度となった。これより、本解析モデルにおいて引張側コンクリート断面の存在は、引張側主鉄筋の応力度に大きく影響していると言える。なお、モデル②においても道示設計法に対して小さいが、圧縮側コンクリート断面が影響しているものと考えられる。

以上より、引張側主鉄筋の応力度について、道示設計法と当初モデルが大きく異なったのは、コンクリート断面の評価の違いによるものと考えられる。すなわち、道示設計法は設計曲げモーメントに対して、引張側主鉄筋のみで抵抗する計算方法となっていることに対し、当初モデルではコンクリート部材が大きく抵抗する計算となっている。

引張側主鉄筋の応力度について、当初モデルと道示設計法が大きく異なるのは上述の通りである。斜角の影響及び引張側主鉄筋に対する引張側配力筋の鉄筋量の影響を評価する上で、本FEM解析モデルによる検証は問題ないと考えられる。

表-2 FEM 解析結果の妥当性確認

		引張側主鉄筋 応力度(kN/m ²)	道示設計法と FEM解析の比率(%)
道示設計法		163.009	-
FEM解析 結果	当初モデル	18.187	11.2%
	モデル①	19.203	11.8%
	モデル②	119.542	73.3%

3. 斜角有りモデルと斜角無しモデルの結果比較

斜角有りモデルと斜角無しモデルの鉄筋応力度の結果を表-3に比較する。引張側配力筋の応力度については、斜角有りの方が大きな値となった(7.22倍)。一方で、引張側主鉄筋の応力度については、斜角有りの方が小さな値となった(0.34倍)。斜角を有することで、配力筋の応力度が大きくなり、主鉄筋の応力度が小さくなっていることがわかる。なお、斜角有りモデルにおいて、主鉄筋の応力度に対する配力筋の応力度の比率は 2/3 程度(=4.000(kN/m²)/6.182(kN/m²))となり、道示設計法に示される斜角 90° 未満 60° 以上の必要配力筋鉄筋量である 2/3 程度と同等の結果となった。

図-6に引張側主鉄筋・配力側主鉄筋のひずみ分布図を示す。引張側主鉄筋において、斜角有りモデルは踏掛版側面端部に、斜角無しモデルでは支間中央である活荷重載荷位置でひずみが大きくなることが確認できる。斜角有りモデルは斜角無しモデルに対して、応力が配力筋により分散されているためであり、斜角による影響が確認される。

表-3 斜角有りモデルと斜角無しモデルの結果比較

斜角	引張側鉄筋	応力度(kN/m ²)
有り	主鉄筋	6.182 (0.34)
	配力筋	4.000 (7.22)
無し	主鉄筋	18.187 (1.00)
	配力筋	0.554 (1.00)

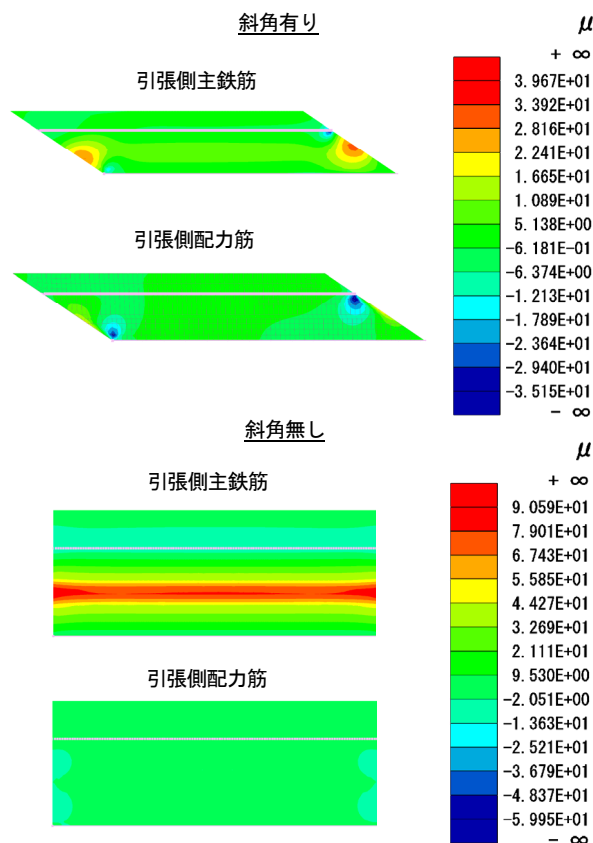


図-6 ひずみ分布図

4. まとめ

斜角60°未満を有する踏掛版についてFEMによる解析を行い、斜角の有無と主鉄筋応力度・配筋応力度を対象に検証を行った。本研究で得られた結果は次の通りである。

- (1)斜角 33° 40° FEM 解析モデルにおいて、道示設計法に示される斜角 90° 未満 60° 以上の引張側主鉄筋に対する引張側配筋鉄筋量(2/3程度)を配置し、検証した結果、鉄筋の応力超過は生じないことが確認された。
- (2)斜角 33° 40° FEM 解析モデルの引張側主鉄筋の応力度に対する引張側配筋の応力度の比率は2/3程度である。これは、道示設計法の斜角 90° 未満 60° 以上の引張側必要配筋鉄筋量と同等の結果であった。
- (3)FEM 解析による引張側主鉄筋応力度は、道示設計法に対して非常に小さくなった。これは、コンクリート断面の評価の違いによるもので、道示設計法は設計曲げモーメントに対して引張側主鉄筋のみで抵抗する計算方法となっているが、FEM 解析はそれに対して圧縮側鉄筋・引張側配筋及びコンクリート部材が抵抗する解析となっているためである。実際は本研究で採用した FEM 解析モデルのように種々の部材が抵抗するものであり、道示設計法は十分安全側の設計になっている。
- (4)斜角を有することで、引張側配筋の応力度が大きくなり、引張側主鉄筋の応力度が小さくなる傾向である。

あとがき

本研究では斜角33° 40° の踏掛版についてFEM解析モデルにより検証を実施したが、さらに小さい角度での主鉄筋・配筋の応力分布について検証の余地がある。また、斜角を有することで主鉄筋の応力度が小さくなることが確認されたが、主鉄筋の鉄筋量を減じることのできる可能性を検討することも今後の課題となる。さらに、本FEM解析モデルの支間長は踏掛版長の70%としたが、より実態に近く地盤分布バネとした条件での検証の余地がある。

最後に本論文の執筆に際し、ご指導・ご助言頂きました関係者の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1)土木学会：コンクリート標準示方書 2012 年
- 2)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 H24.3
- 3)近畿地方整備局：設計便覧(案) H24.4
- 4)全日本建設技術協会：建設省制定土木構造物標準設計第 6~12 巻(橋台・橋脚)の手引き(昭和 57 年度決定版)
- 5)中日本高速道路株式会社：設計要領第二集橋梁建設編(平成 28 年 8 月)
- 6)四国地方整備局：設計便覧(道路編)H27.9