

斜角桁の地震時回転挙動と下部工変位の関係のモデル化

西日本旅客鉄道株式会社 正〇山田 孝弘 妹尾 尚宜
 公益財団法人鉄道総合技術研究所 正 猿渡 隆史 正 西岡 英俊

1. はじめに

鉄道は、交差道路や線路線形等の制約条件から斜角桁が多い(図1)。近年の地震では、斜角桁が回転挙動により沓座から逸脱、回転・落橋した事例が報告されている。筆者らは、橋台の応答が斜角桁の回転挙動に与える影響について、橋台の幾何学形状や地震動の入力方向などをパラメーターとした模型振動実験により、実験的に検証してきた。本論文では、斜角桁の回転角をモデル化し、実験結果との比較による検証を行う。



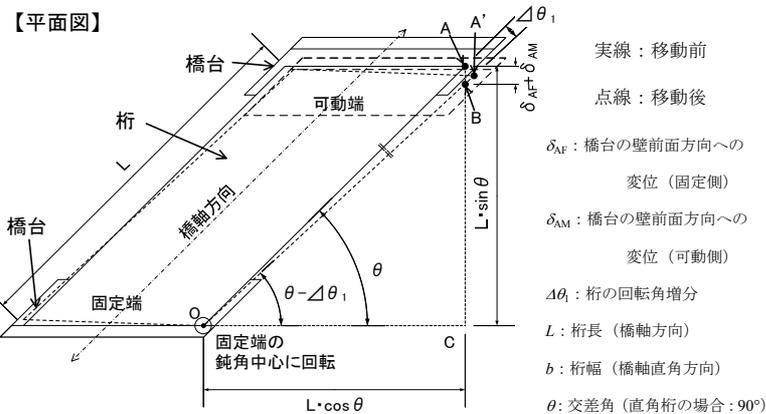
図1 鉄道の交差部における斜角桁

2. 桁の回転角のモデル化

文献1)の実験では、斜角橋梁の下部工(橋台)間の相対変位の増加(支間長の短縮)に伴い、斜角桁の回転角が線形的に増加し、さらに相対変位が大きくなり桁がパラペットに衝突した後は、相対変位の増加に伴う桁の回転角が急激に増加する結果となった。この結果を勘案し、橋台間の相対変位と桁の回転角の関係について、桁がパラペットに衝突する前(遊間が詰まる前)とパラペットに衝突した後(遊間が詰まった後)に分けて、それぞれ幾何学的な変形条件に基づくモデル化を行う。

2.1 桁がパラペットに衝突する前のモデル化

桁がパラペットに衝突する前の変形状態を図2に示す。なお簡便のため橋台間の相対変位 $\delta_{AF} + \delta_{AM}$ を可動側に集約して図示している。ここでは可動側鋭角端(図中のA)の下沓(橋台側)は壁前面方向に $\delta_{AF} + \delta_{AM}$ だけ変位してA→Bに移動し、このとき桁は固定側鈍角端(図中のO)を中心として $\Delta\theta_1$ だけ回転し、それに伴って桁の可動側鋭角端の上沓(桁側)は可動方向に滑りながらA→A'に移動すると考えることができる。よって、図中の $\triangle OCB$ に着目すればパラペット衝突前の桁の回転角 $\Delta\theta_1$ の予測式として以下の式(1)が求まる。



$$\Delta\theta_1 = \theta - \tan^{-1}\left(\tan\theta - \frac{\delta_{AF} + \delta_{AM}}{L \cos\theta}\right) \quad (1)$$

2.2 桁がパラペットに衝突した後のモデル化

図2 桁回転角モデル化の概念(パラペット衝突前)

橋台間の相対変位が大きくなると可動側の遊間が詰まり、可動側の鈍角端がパラペットに衝突する。衝突時の桁の鈍角間同士を結ぶ線と橋台壁面のなす角度(鈍角間角度 θ_0')が浅いとさらなる固定側橋台と可動側橋台の壁前面方向変位(衝突後からの増分をそれぞれ δ_{AF}' , δ_{AM}' とする)が生じた場合に桁がストラットとして抵抗できず、いずれか一方の鈍角端を中心にして、もう一方の鈍角端がパラペット前面を外側に滑りながら回転すると考える。桁がパラペットに衝突した後の変形状態を図3に示す。なお図2と同様に相対変位増分 $\delta_{AF}' + \delta_{AM}'$ を可動側に集約させているほか、初期の時点を桁がパラペットに衝突した状態(初期の遊間がゼロの状態)として、固定側の鈍角端を中心にして回転するものとして図示している。パラペットに衝突した後の橋台間相対変位増分 $\delta_{AF}' + \delta_{AM}'$ に対して、桁は一方の鈍角端(図中O)を中心にして $\Delta\theta_2$ だけ回転し、もう一方の鈍角端がA→Bに移動すると考えられる。よって、パラペット衝突後の桁の回転角の増分 $\Delta\theta_2$ の予測式として以下の式(2)が求まる。

キーワード 斜角桁, 振動実験, 耐震診断

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島5-4-20 西日本旅客鉄道株式会社 構造技術室 TEL 06-6305-6958

$$\Delta\theta_2 = \theta_0' - \sin^{-1}\left(\sin\theta_0' - \frac{\sin\theta_0'}{\sin\theta} \cdot \frac{\delta_{AF}' + \delta_{AM}'}{L}\right) \quad (2)$$

2. 3 桁の回転角に関する提案式

式(2)では桁衝突後からの増分で式展開したが、これを初期の橋軸方向の遊間(両端の合計) S_L および桁衝突時の回転角 $\Delta\theta_s$ (式(1)の $\delta_{AF} + \delta_{AM}$ に壁前面方向の遊間 $S_L \sin\theta$ を代入して得られる) を考慮すると、橋台間相対変位 $\delta_{AF} + \delta_{AM}$ によって生じる桁の回転角 $\Delta\theta$ は、桁長 L 、橋軸方向遊間 S_L 、交差角 θ および鈍角間角度 θ_0 をパラメータとした以下の提案式(3)(4)でモデル化できる。桁のパラペットへの衝突前後について示す。

$$(\text{衝突前}) \quad \Delta\theta = \theta - \tan^{-1}\left(\tan\theta - \frac{\delta_{AF} + \delta_{AM}}{L \cos\theta}\right) \quad (3)$$

$$(\text{衝突後}) \quad \Delta\theta = \theta_0 - \sin^{-1}\left\{\sin(\theta_0 - \Delta\theta_s) - \frac{\sin(\theta_0 - \Delta\theta_s)}{\sin\theta} \cdot \frac{\delta_{AF} + \delta_{AM} - S_L \sin\theta}{L}\right\} \quad (4)$$

提案式を踏まえ、桁長 L で正規化した橋台間相対変位 $\delta_{AF} + \delta_{AM}$ と桁の回転角 $\Delta\theta$ の関係の例を図4に示す。実際の斜角橋梁で想定される範囲においては、パラペットとの衝突を境に回転角 $\Delta\theta$ が急増し、その関係は概ね2直線で近似できることがわかる。

3. モデル化の検証(模型実験との比較)

ここで、提案式によるモデル化の妥当性を検証するため、文献1)の模型振動実験および静的載荷実験との比較を行う。図5に橋台間相対変位(桁長で正規化)と桁の回転角の関係を、実験模型の構造諸元、遊間から提案式により推定したものを、実験結果とともに示す。提案式での回転角の推定値は実験結果を上回っており、安全側の評価であることが確認できる。これにより橋台の構造諸元やの斜角桁の幾何学形状がわかれば、構造解析と提案式により、桁の回転角つまり桁端の変位量を安全側に推定できることとなる。そしてこの変位量により落橋等の危険性を判断することが可能となる。

4. おわりに

本論文では、既往の模型実験の結果に関して、斜角桁の幾何学形状から橋台間の相対変位量と桁の回転角の関係を安全側に評価できるモデルを提案した。なお図4(b)に示すように、桁のパラペットへの衝突後の式(4)は鈍角間角度 θ_0 に応じて桁の回転角 $\Delta\theta$ が大きくなる傾向があるが、実際には θ_0 が 90° に近づくとも桁端とパラペットの摩擦によって桁の回転が拘束され、過度に安全側の評価となるため、この点については別途検討が必要であると考えている。今後は実務を見据え、このモデルを用いて斜角桁の地震時回転挙動によるリスクを評価できる、簡易な診断方法を提案する予定である。

参考文献

1)猿渡, 西岡, 山田: 斜角桁の地震時回転挙動への下部工変位の影響に関する実験的検討, 第69回土木学会年次講演会, 2014. (投稿中)

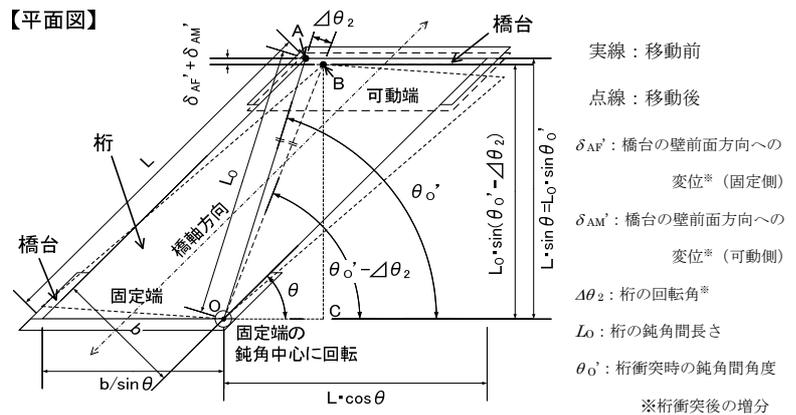


図3 桁回転角モデル化の概念(パラペット衝突後・遊間考慮なし)

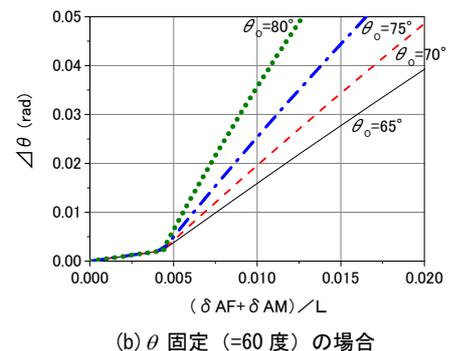
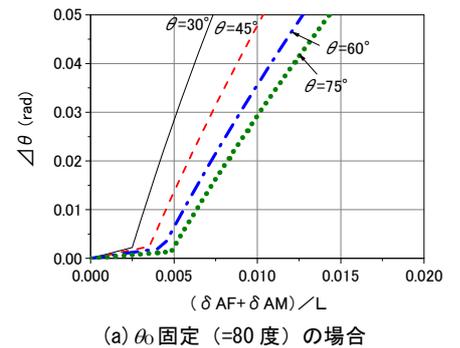


図4 提案式による橋台の相対変位と桁の回転角の関係の例

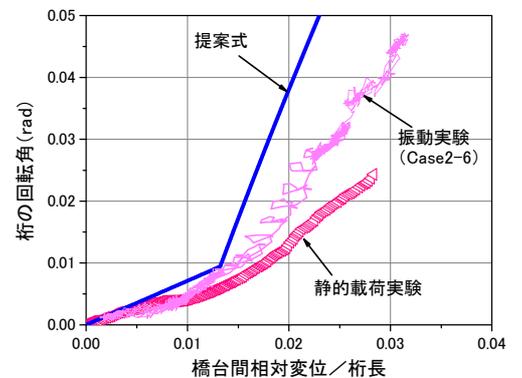


図5 橋台の相対変位と桁の回転角の関係(提案式と実験値の比較)