

地震により被害を受けた鉄道橋に関する調査
ー地盤特性と斜角桁の地震時挙動ー

JR 東日本	千葉土木技術センター	正会員	○高山	充直
同	千葉支社工事課	正会員	鈴木	博人
同	千葉支社工事課	正会員	植村	昌一
同	千葉支社工事課		最首	勝

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震では、東北地方を中心に多くの鉄道構造物に甚大な被害が発生した。このような大地震では地震動による斜角桁の回転挙動に起因する落橋が生じることが知られているが¹⁾、今回の地震では広範囲で強い地震動が観測されたにも関わらず、回転挙動が要因と考えられる軌道桁の横移動が発生したのは当社では 1 箇所のみのものであった。これには構造的な要因のほか、地盤特性が関係しているものと考えられたことから、当該橋りょう付近の地盤特性と地震時挙動について調査し、得られた知見について述べる。

2. 橋りょうと被害の概要

横移動が生じた橋りょうは、単純箱式合成桁の架道橋で支間 28m、左 60° の斜角桁である。駅構内であるため、ホーム桁を軌道桁が挟む構造となっている(図-1)。

地震による被害は、上部工では軌道桁の横移動(最大 1,350mm 移動、図-1、写真-1)、軌道桁のほぼ全ての支承のサイドブロックの破断、ソールプレートの変形などである。また、支承本体の割れや沓座破損は生じていないが、パラペットに橋桁が衝突したことによるコンクリート表面の剥離が発生していた。なお、く体には亀裂などの変状は発生していない。

3. 地盤特性と斜角桁の地震時挙動

(1) 地盤の揺れやすさの検証

当橋りょうが位置するのは、溺れ谷が埋積して形成された谷底平野である。これまでの地質調査記録より、当該箇所が腐食土やシルトで形成された厚い軟弱な地盤上に位置することから、地震時には局所的に地震動が増幅した可能性があると考え、地盤の揺れやすさについて検証した。地盤の揺れやすさは、地震時の地盤増幅特性と相関が高いとされる地表から 30m までの地盤の平均 S 波速度 (AVS30) を用いて推定した²⁾。

この手法は、ボーリング柱状図の深度ごとの土質区分と N 値データから経験式を用いて各層の S 波速度を推定し、その結果から AVS30 を推定するものである。AVS30 の推定式は、式(1)のとおりで N 値が小さいほど小さくなる。また、S 波速度 600m/s 基盤の最大速度に対する表層地盤の最大速度の増幅度 G (以下、地盤増幅度とする) は、AVS30 を用いて式(2)で推定でき、AVS30 が小さいほど大きくなる。

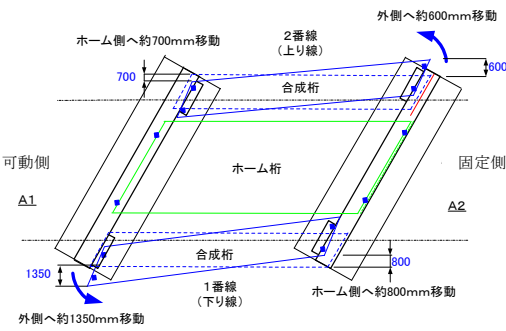
$$V_s = a \cdot N^b \tag{1}$$
$$\text{Log} G = 1.83 - 0.66 \text{Log} \text{AVS30} \pm 0.16 \tag{2}$$

ここに、 V_s : S波速度(m/s)

N : N 値(層ごとの平均N値)

a : 土質係数1(粘土:111.30,砂:94.38,礫 123.05)

b : 土質係数 2(粘土:0.3020,砂:0.3144,礫 0.2443)



図ー1 地震による桁移動状況



写真ー1 桁移動状況

(2) 斜角桁の地震時挙動の検証

当橋りょうの地震時挙動について検証する。斜角桁は、水平地震動により橋桁の端部が橋台のパラペットや隣接桁の端部に衝撃して、鋭角側に回転移動することが知られている¹⁾。当橋りょうにおいても、パラペットに桁端部の衝突痕があることから、水平地震動により支承の変位制限機能が破壊されて、桁が橋軸方向に変位し桁端部がパラペットに衝突した結果、衝突した接点に反力が生じ、桁に回転変位が発生して、桁が杓座から逸脱し、最大 1,350mm の変位が生じたものと推測された。

斜角桁の回転移動の可否は斜角桁の平面形状に依存し、図-2 は平面形状による斜角桁の回転判別図である。図-2 の左図では桁端部である辺 CD が、辺 CH より小さいと、桁端部がパラペットに当たらず回転可能である。また、右図では辺 CD が辺 CH より大きいため桁端部がパラペットに当たり回転不能である。これを式で表したのが判別式 (3) で、この計算値である回転判別値が 1 以上であれば回転可能である¹⁾。

$$((\sin 2\theta)/2) / (b/L) > 1 \quad (3)$$

ここに、
 L : 一連の構造物延長
 b : 上部構造の全幅員
 θ : 斜角

式 (3) に当橋りょうの諸元を代入すると 3.26 となり、回転判別値が 1 以上のため、回転可能に該当する。また、式 (3) は図-3 に示した剛体の転倒の判定でも同様に表すことができる¹⁾。回転判別値は斜角 45° で最大となり、値が大きいほど回転しやすい形状となる。そのため、地震時の桁回転移動の可能性は、地盤増幅度や上部構造重量と回転判別値から概ね推定できるものと考えられる。

(3) 地盤増幅度と回転判別値による評価

図-4 は、千葉支社管内で回転判別値が 1 以上である鋼桁について、地盤の揺れやすさ及び回転判別値から、地震時における桁の回転移動のしやすさを評価したものである。桁が最も回転移動しやすいと判別されるのは、調査を行った当橋りょうで、前述のように実際に今回の地震で桁に回転移動が生じた。また、地盤増幅度が大きい A 橋・B 橋でも今回の地震で桁端部がパラペットに衝突や支承の損傷が生じたが、回転判別値が小さいことや、開床式の下路鉸桁で死荷重が小さいなどの理由から桁の回転に至らなかったものと考えられる。

4. まとめ

本調査で得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 当橋りょうは、桁が橋軸方向に変位し、橋端部と橋台のパラペットと衝突した反力が生じ、桁に回転変位が発生して、桁が鋭角側に横移動したと考えられる。
- (2) 当橋りょうは、地盤の揺れやすさの指標である地盤増幅度が大きく、桁が回転しやすい形状であることから、地震によって桁が横移動しやすい橋りょうであると考えられる。
- (3) 地盤増幅度と回転判別値から地震時の桁の横移動のしやすさを評価する方法を提案し、千葉支社管内で回転判別値が 1 以上であった鋼斜角桁について桁の横移動のしやすさを評価した。その結果、当橋りょうが最も桁が横移動しやすい橋りょうであった。

参考文献 1) 斜橋の水平地震動による回転挙動解析 大塚 久哲・神田ほか 土木学会論文集 No.570/ I-40,315-324,1997.7
 2) 地震防災マップ作成技術資料 内閣府(防災担当) 平成 17 年3月

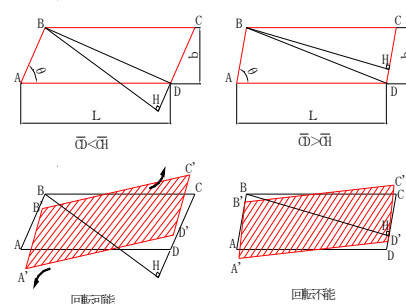


図-2 回転の判別

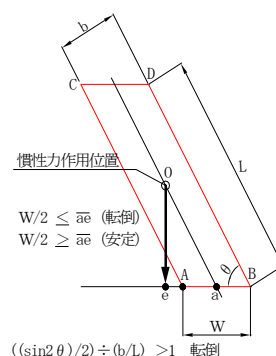


図-3 剛体の転倒判定

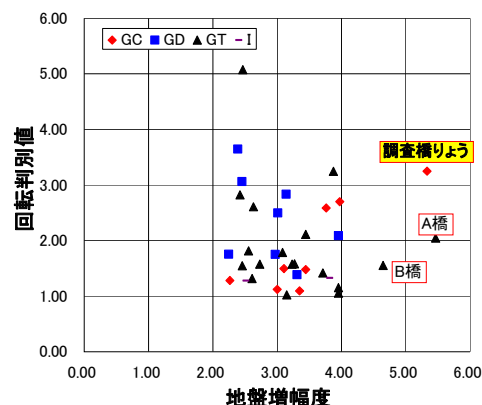


図-4 地盤増幅度と回転判別値