

撓曲帯における断層変位を考慮した高架橋の設計

(独) 鉄道・運輸機構

正会員 ○今井 啓文

パシフィックコンサルタンツ株式会社

正会員 池端 文哉

1. はじめに

整備新幹線のルートにおいて、断層変位による撓曲帯とほぼ平行に交差する箇所が確認された(図-1)。一般的には、地質調査の結果から、地表断層変位が認められる場所を特定し、交差する付近に対して、構造物の復旧性の観点から、落橋防止を適切に図った上で、断層を跨ぐ桁式構造が採用される。しかし、本件では広範囲にわたって撓曲しており、地表面付近に生じる断層変位の影響の推定が困難であった。そこで、高架橋への影響を把握するため、地盤モデルを作成し、想定される断層変位を与えて、高架橋の耐震性能を評価した。

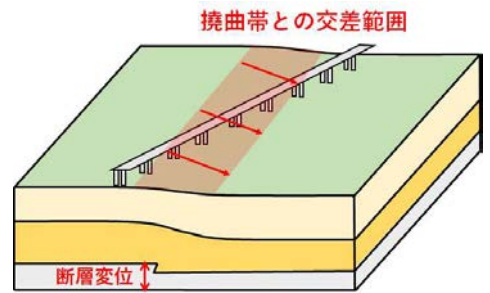


図-1 撓曲帯との交差箇所のイメージ

鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計¹⁾では、地表断層変位に対しては、未解明な部分もあるため、直接的に性能を定めて照査する体系とっていないが、耐震設計で制御できない部分については、「危機耐性」として想定以上の地震が発生した場合でも破局的な状態に至るのを回避することが示されている。そのため、本検討のように、危機耐性を高める取り組みは重要である。例えば、堺市南海高野線連続立体交差事業²⁾では、構造物が倒壊しない限界の断層変位はどの程度かを検証するために、解析モデルを作成し、断層変位解析を行っている。

2. 断層変位が構造物に与える影響の検討

想定される断層変位が計画された構造物に与える影響を検討するために、3段階の解析を行った(図-2)。①断層全体系モデルは、地下深部で強制変位を発生させて、地表面における断層変位を把握するモデルである。

①のモデルで構造物への影響まで検討しないのは、km単位でモデル化する範囲を設定するため、計算に時間を要すること、構造物まで検討に含めるとモデル自体が複雑なることから、地表断層変位のみを検討した。②表層地盤モデルは、ボーリング調査から得られた地質情報のモデルを作成し、①のモデルで得た応答変位を入力、構造物軸線位置での変位を抽出するための解析を実施した。③フレームモデルは、②のモデルで得た変位を、構造物に対して作用させる解析を行った。以下に、それぞれのモデルについて詳述する。

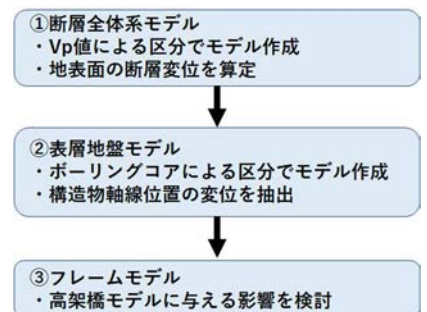


図-2 影響検討の流れ

(1) 断層全体系モデル (FEM 解析)

断層全体系モデルでは、整備新幹線のルートと撓曲帯が近接する箇所の地盤構造のデータを選定し、防災科学技術研究所 J-SHIS³⁾における深部地盤の Vs 値の分布情報から、地盤モデルを作成した(図-3)。強制変位を発生させる地震基盤面の深さは、Vs = 3000m/s 以上となった深さ

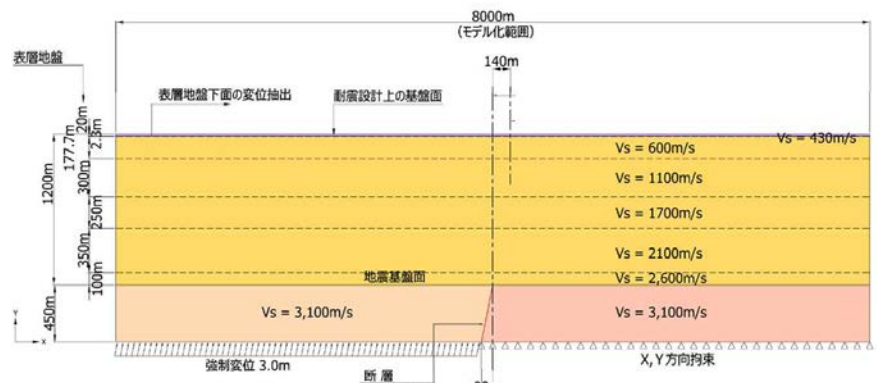


図-3 断層全体系モデル

キーワード 整備新幹線, 高架橋, 断層, 撓曲, FEM 解析

連絡先 〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町 6-50-1 横浜アイランドタワー TEL045-222-9082 FAX045-222-9102

1200mに設定した。断層変位は、地震調査推進本部⁴⁾において、2-3m程度以上のずれが想定されていたため、地震基盤面において、断層変位 3.0m を強制変位として作用させた。FEM 解析では、弾性モデルを用いた。解析範囲は、鉛直方向は地震基盤層までを、水平方向は地震基盤層までの深さの約 4 倍の 4000m とした（モデル全体の幅では 8000m）。解析の結果、地表面においても 3.0m の隆起が生じ（図-4）、傾斜角は最大で 1.65 (mrad) であった。また、地表面の傾斜は、断層中心を介して、概ね±1.0km の範囲に及ぶことが確認された。

(2) 表層地盤モデル (FEM 解析)

近傍のボーリング調査結果を用いて、表層地盤モデルを作成し、FEM 解析を行った（図-5）。解析では、弾性モデルを用いた。範囲は、鉛直方向は、耐震設計上の基盤面として $V_s=400\text{m/s}$ 以上となる深さ 20m までとし、水平方向の解析にあたっては、断層全体系モデルと同様に、深さ方向の 4 倍（80m）に、撓曲帯が推定される範囲を加味して、250m（モデル全体の幅では 500m）として設定した。断層全体系モデルで得られた応答変位を表層地盤モデルに強制変位として作用させた。結果、表層地盤 20m 間における水平方向の相対変位は約 30mm、杭間隔 7.0m の高架橋支持杭の間の相対鉛直変位は約 11mm となった。

(3) フレームモデル解析

部材の照査を行うために、地表地盤モデルにより得られた高架橋地中梁および杭位置における地盤変位に対して、杭及び地中梁のフレームに設置した地盤バネ係数を乗じることにより得られる荷重をフレームモデルに作用させた（図-6）。断層変位後、当該高架橋のみ残留変位したと仮定し、隣接高架橋との軌道面の角折れ値を算出した結果、4.0~5.0mrad となり、鉄道構造物等設計標準・同解説 変位制限⁵⁾に示される地震時における角折れの制限値（水平方向の変位でスラブ軌道の時：6.0mrad）以下となった。

3. おわりに

各種解析から、撓曲帯での断層変位に対する高架橋への影響を検討した結果、列車走行に関わる不同変位（角折れ）の照査値も満足することが確認できた。この検討事例が、今後、断層との交差・近接が想定される場所に建設される構造物の設計の一助となれば幸いである。

参考文献 1) 鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 2006

2) 堺市南海高野線連続立体交差事業鉄道構造形式検討委員会 <https://www.city.sakai.lg.jp/shisei/gyosei/shingikai/kensetsukyoku/douro/tetudoukouzou-iinkai/index.html> (2022年3月15日閲覧)

3) 防災科学技術研究所 J-SHIS <https://www.j-shis.bosai.go.jp/> (2022年3月15日閲覧)

4) 地震調査研究推進本部 <https://www.jishin.go.jp/> (2022年3月15日閲覧)

5) 鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 変位制限, 2006

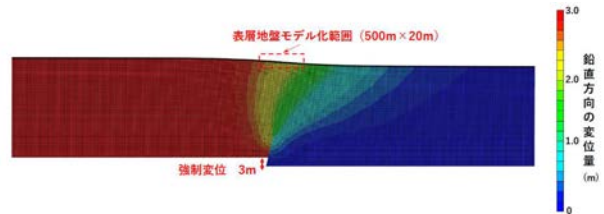


図-4 強制変位を加えた FEM 解析の結果
(上向きの変位量を+とする)

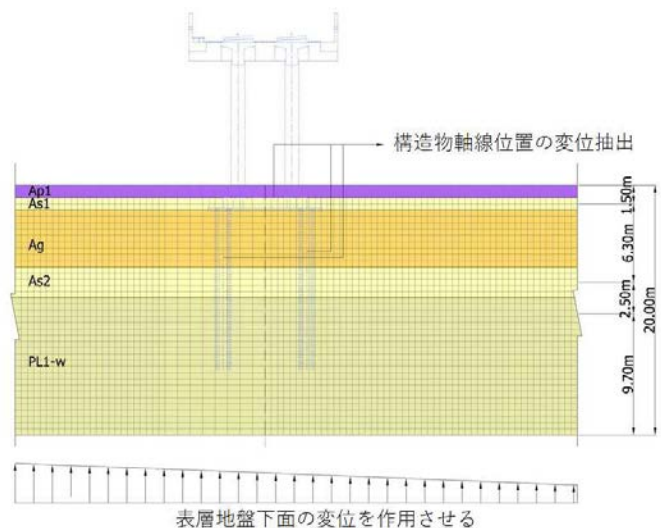


図-5 表層地盤モデル

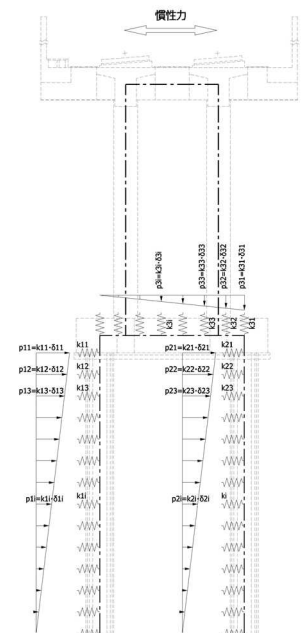


図-6 地中梁、
杭の作用荷重図