

ホームの合理的な設計に向けた地震時水平変位の解析的検討

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○小西 陽太 正会員 加藤 精亮
正会員 鈴木 健一 正会員 野間 修一

1. 研究の目的と概要

鉄道における地震時の列車の走行安全性は、主に軌道面の変位により検討している。しかし、停車場区間など構造物とごく接近した環境においては、近接する構造物と車両の離隔も走行安全性に影響を及ぼすと考えられる。構造物と車両の位置関係を把握するためには軌道面変位の確認が必要となるが、土工上に設けられる桁式ホームなどの照査は一般的にフレーム解析などにより行われており、軌道面(地盤)の変位を算出していない。そこで、車両と構造物の離隔の簡便な推定法を検討するため、ホームのような比較的剛性の小さい桁式構造物の変形と、車両と構造物の離隔との相関に関して動的2次元FEM解析により検証したので、報告する。

2. ホーム設計時の水平変位の考え方

地震時のホームの変形を想定した概念図を図-1に示す。地震時には軌道(地表面)も δ_g の変位を生じており、ホームと車両の接触を防止するには、ホーム端と軌道(地表面)の接近量($\delta_f - \delta_g$ 、以下、接近量)を照査することが直接的であるが、梁-地盤バネによる静的解析においては軌道(地盤)の変形量を考慮できず、ホーム各部の変位を用いた照査になる。しかしながら、仮にホーム基礎杭と地盤が一体的に挙動する場合には、接近量は地表面より上部のホーム構造において生じる変位に一致する。特にホームのように剛性が小さく、高さの低い構造物では、これが期待できる。そこで本検討では、ホーム端変位 δ_f とホーム端と杭頭の変位の差($\delta_f - \delta_p$ 、以下、上部工変位量)に着目する。

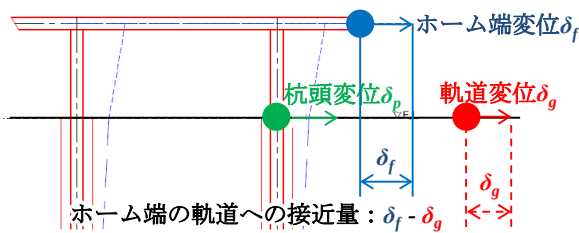


図-1 ホームの変形・変位の概念図

3. 解析条件

解析は、地盤および構造物を弾性体とする2次元等価線形FEM解析により実施した。解析プログラムには、株式会社マイダスアイティのSoil Works 4.9を使用した。せん断弾性剛性 G_0 と減衰定数 h のひずみ依存性の考慮は、一般によく用いられる土木研究所の式¹⁾²⁾を用い、0.1%ひずみ時の減衰定数 h を0.20とした。構造物は、弾性ビーム要素で設定し、減衰定数は0.15とし³⁾考慮した。地盤の境界条件としては、底面は粘性境界、左右は波動伝達境界とした。解析

モデルの一例を図-2に示す。解析は、計3ケース(Case-1～Case-3)実施した(表-1)。ホームは基礎杭を含めいずれも弾性ビーム要素にてモデル化し、2柱2杭の桁式ホーム(以下、補剛なし)と、これの支柱および横桁をブレースにて補剛したホーム(以下、補剛あり)の2種類の構造を設定した。ホームの部材の諸元は表-2の通りである。いずれも各部材の自重のみを荷重として考慮した。ホームの杭および支柱、桁のスパンは5mを想定し、PC板およびアスファルト舗装等の荷重は5m分を横桁に載荷した。地盤条件を表-3に示す。解析に用いるせん断弾性剛性 G_0 は、N値から換算した。ホーム構造と地盤の境界には、幅2mmの薄いソリッド要素を設定し、せん断弾性剛性 G_0 を小さく設定することで地盤の引張抵抗および水平抵抗の表現を試みた。

全ケースとも図-3に示す地震波を底面から入力した。

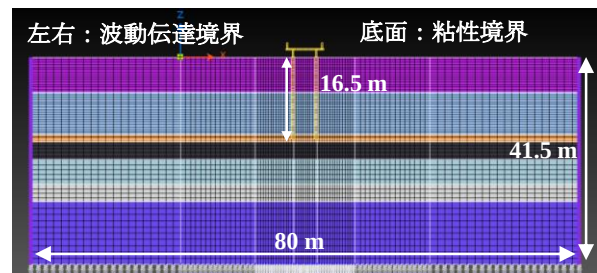


図-2 解析モデルの一例

表-1 解析ケース

Case	地盤	ホーム
1	普通	補剛なし
2	普通	補剛あり
3	N値2倍	補剛なし

表-2 ホーム構造諸元

杭部材	φ650mm, 16.5 m
桁部材	H鋼, 7.6 m H300*300*10*15
支柱部材	H鋼, 1.6 m H300*300*10*15
ブレース	H鋼 (Case-2のみ) H300*300*10*15
ホーム柵	高さ 1.3 m

表-3 地盤条件

土質	層厚[m] (層下面深度)	N値	湿潤単位 体積重量 [kN/m ³]	G_0 [kN/m ²] Case-1,2	G_0 [kN/m ²] Case-3
粘性土	7.0 (7.0)	2	16.0	25894	41171
砂質土	8.5 (15.5)	13	18.0	64851	103113
粘性土	1.5 (17.0)	15	16.0	99505	158213
粘性土	3.5 (20.5)	9	14.0	61743	98171
砂質土	5.0 (25.5)	48	19.0	164010	260776
粘性土	3.5 (29.0)	36	19.0	210917	335358
砂質土	12.5 (41.5)	50	20.0	177421	282099

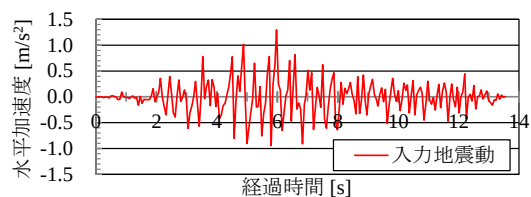


図-3 入力加速度(水平方向)

キーワード ホーム、鉄道構造物、動的挙動、等価線形解析

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木2-2-6 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 TEL:03-3379-4353 E-mail: konishi1@jreast.co.jp

4. 解析結果

4.1. 地震時の水平変位

上述のように、梁-地盤バネによる静的解析では地盤の変位を考慮できず、ホーム各部の変位量を用いた照査となる。そこで、実施した動的2次元FEM解析の結果についても、各ケースにおけるホーム端変位および上部工変位量に着目し、ホーム端と軌道の接近量と比較した。それぞれの最大値を表-4に示す。ホーム端変位は、いずれのケースにおいても接近量より大きな値となっており、軌道の変位量を考慮した照査が適切であると考えられる。

表-4 接近量とホーム端変位および上部工変位量の最大値

	Case-1	Case-2	Case-3
接近量[mm]	19.6	8.2	16.1
ホーム端変位 [mm]	27.7	19.3	25.2
上部工変位量[mm]	14.8	2.9	13.4

地震時の水平変位の時刻歴に関して、Case-1の結果を図-3および図-4に示す。図-3は、杭頭変位 δ_p 、ホーム端変位 δ_f 、軌道（地表面）変位 δ_g の時刻歴を示す。いずれも概ね同位相での挙動を示しており、杭頭と軌道（地表面）の挙動も概ね一致しているが、変位の値はホーム端変位が大きい。図-4は、ホーム端と軌道の接近量（ $\delta_f - \delta_g$ ）、ホームの上部工変位量（ $\delta_f - \delta_p$ ）を時刻歴で示したものである。接近量の方が上部工変位量よりもやや大きい値を示すものの、両社の挙動は概ね一致している。これより、本ケースにおいては、構造物と地盤の挙動は概ね一致し、ホーム端と軌道の接近量は上部工変位量が大きく影響していると言える。

4.2. 接近量と上部工変位量およびホーム端変位の相関

ここで、Case-1～3における、接近量と、上部工変位量およびホーム端変位の相関を図-5に整理した。いずれのケースにおいても、ホーム端変位は、接近量と比較して値が大きく、バラつきが大きいのにに対し、接近量と上部工変位量には顕著な線形的相関が見られる。これより上部工変位を用いることにより、本来照査すべきホーム端と軌道の接近量を適切に評価できる可能性があると言える。また、接近

量と上部工変位量の線形相関に関して、Case-1での傾き α は0.728となった。傾き α が1に近いほど地盤と杭の挙動のズレの影響が少なく、ホームと軌道の接近量は、地表面より上部の構造が支配的であると言える。表-5に各ケースにおける傾き α の値を示す。これより、ホーム構造の変化により、上部工変位量と接近量の相関は変化し、同一ホーム構造に対しては、地盤の剛性の増大により、傾き α の値は1に近づく結果となった。

表-5 上部工変位量と接近量の比例関係における比例定数 α

	Case-1	Case-2	Case-3
比例定数 α	0.728	0.359	0.839

5. 合理的な設計に向けた水平変位の考え方

ホーム上部工変位量は、接近量と一致はしないものの、地震時の全時刻において概ね比例関係を示す結果となった。この比例定数である α を用いて、例えば静的解析により得た上部工変位量を係数 α で除して照査するなど、上部工変位量を照査指標とすることができる可能性がある。しかしながら、ブレースの設置により係数 α は大きく変動するなど、地盤とホームの組合せを適切に考慮する必要がある。

6. まとめ

中規模地震時におけるホームと車両の接触防止のため、ホームの地震時水平変位の照査指標に関して、動的2次元FEM解析により検討した。以下の知見を得た。

- ホーム先端と軌道（地表面）は概ね同位相で挙動する。
- ホーム先端と軌道（地表面）の接近量は、ホームの上部工変位量と概ね比例関係にある。
- ホームの上部工変位量を用いて、地震時のホーム車両の接近を検討できる可能性を示すことができた。

参考文献

- 1) 岩崎ら，土木研究所報告，No.153，pp.57～121,1980. 2) 岩崎ら，第15回土質工学研究発表会，pp.625～628,1980. 3) 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），2012.9.

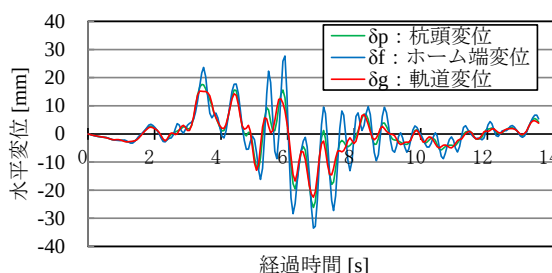


図-3 地震時水平変位の時刻歴 (Case-1)

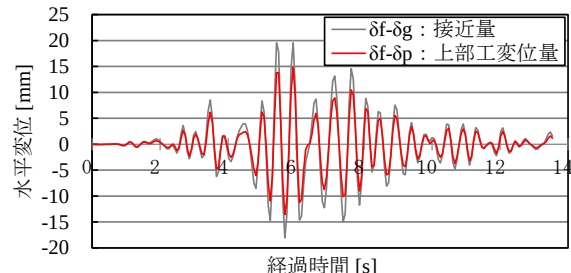


図-4 接近量と上部工変位の時刻歴 (Case-1)

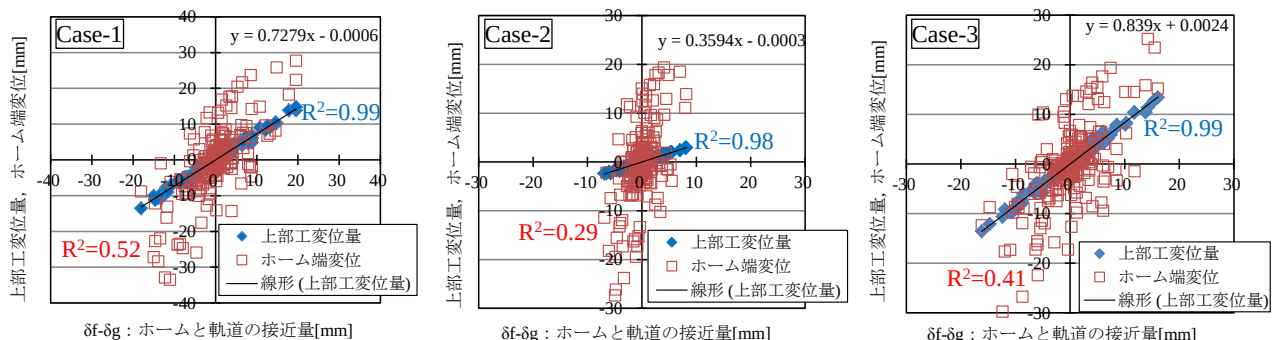


図-5 接近量と上部工変位およびホーム端変位の相関 (Case-1～3)