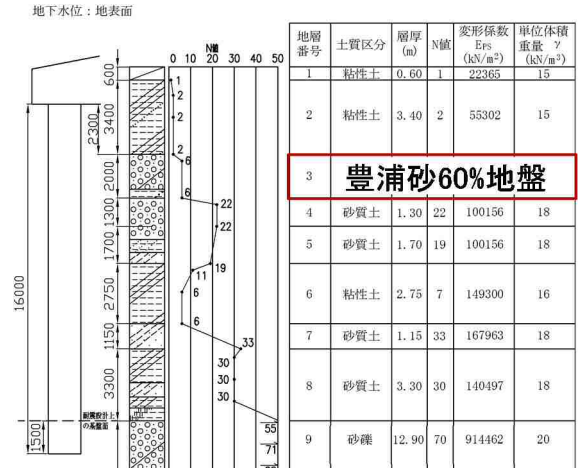


杭基礎の耐震設計における土の変形特性試験の影響

(株) 複合技術研究所 正会員 ○笠井 悟, Duttine Antoine
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 井澤 淳, 鈴木 聡

1. はじめに

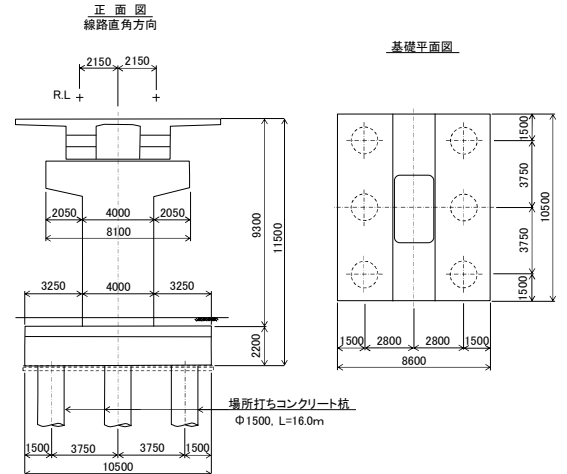
鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計(以降、耐震標準)¹⁾では、逐次非線形動的解析により表層地盤の挙動評価を行い、構造物に作用する慣性力と地盤変位を算定することが原則とされている。一方で、従来の土の変形特性試験(以降、従来法)²⁾では適切な値が得られず、動的解析に影響を与えることなどが指摘されており(例えば³⁾、井澤ら⁴⁾は逐次非線形動的解析のための適切な地盤の変形特性試験法と液状化も含めた表層地盤の挙動評価法(以降、提案法)を提案している。本稿では、異なる試験法から得られた土の変形特性を用いた地盤応答解析、およびハイブリッド地盤応答試験を実施し、それらの表層地盤の結果を用いた杭基礎の耐震設計の結果から、試験法の影響について検討を行った。



(a) 表層地盤

2. 試設計概要

対象構造物は図1(a)に示すように、深度4.0~6.0mに豊浦砂層(相対密度60%)を想定した地盤上の杭基礎形式の橋脚(図1(b))とし、耐震標準および鉄道構造物等設計標準・同解説基礎構造物(以降、基礎標準)⁵⁾にしたがって梁ばねモデルでモデル化した。なお、本構造物はすべて上部工先行降伏の構造物である。応答値は応答変位法により算定し、作用として与える慣性力と地盤変位を地盤応答解析およびハイブリッド地盤応答試験より求めた。地盤応答解析では、従来法²⁾および提案法⁴⁾から得られた土の変形特性をGHE-Sモデルを用いて表現した2ケースを実施した。地盤応答解析の2ケースおよびハイブリッド地盤応答試験から得られた地表面加速度時刻歴を図2に示す。この時刻歴を用い、耐震標準にしたがった



(b) 構造一般図
 図1 対象構造物

1自由度の非線形解析より求めた上部構造物の応答塑性率を表1に示す(等価固有周期と降伏震度は表2に示す)。地表面最大加速度が最も大きい結果となったハイブリッド地盤応答試験結果で最大の応答塑性率

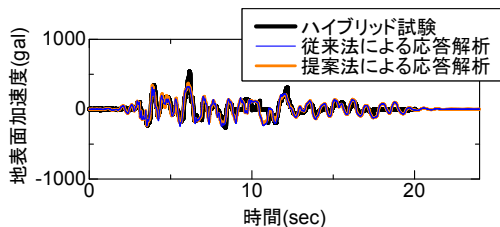


図2 地表面加速度時刻歴

表1 応答塑性率の比較

従来法	1.940
提案法	1.976
ハイブリッド	2.103

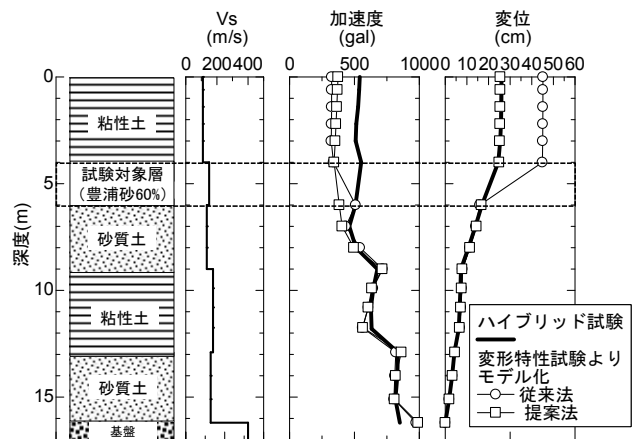


図3 最大応答値分布

キーワード 杭基礎, 耐震設計, 地盤応答解析, ハイブリッド地盤応答試験

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7394

となるが、その差は小さい結果となった。試設計に用いる地盤変位は、図3に示す最大変位分布とした。従来法から得られた変形特性を用いたケースでは、大ひずみ領域の剛性を低く算定する傾向があるため、非常に大きな地盤変位となる。また、提案法の変形特性試験結果を用いたケースとハイブリッド地盤応答試験の地盤変位は整合する結果となっている。

3. 試設計比較

前述のモデルに対する性能照査を実施した。杭頭2D区間の線路直角方向の結果を表2に示す。提案法とハイブリッド試験結果を用いたケースでは、杭頭の軸方向鉄筋(SD390)をD32-24本配置とすると、同等の照査値($\gamma_i \cdot \phi_d / \phi_{md}$) 0.24となり、性能を満たす結果となった。地表面加速度自

体はハイブリッド試験結果が大きいものの、構造物への影響は小さいことが分かる。これはハイブリッド試験の最大加速度が短周期の応答⁴⁾であるため、周期1.0秒程度の本構造物には大きな影響がなかったと考えられる。一般的な鉄道構造物の周期は0.5秒以上であるため、提案法を用いても十分に性能を評価可能である。一方、従来法の作用を用いた場合、軸方向鉄筋(SD390) D32-24本では杭頭部の損傷レベルが4となり、性能を満たさない結果となった。そのため性能を満たすためには、杭頭2D区間の軸方向鉄筋をD35-24本と1ランクアップさせる必要があることがわかった。

4. まとめ

本稿では、地盤の動的解析に用いる土の変形特性試験法の違いによる杭基礎構造物の耐震設計に与える影響について検討した。その結果、従来の変形特性試験では地盤変位を過大評価する可能性があること、提案する変形特性試験結果を用いることで、ハイブリッド地盤応答試験結果を用いた精緻な耐震設計と同等のスペックを算定できることを確認した。今後、様々な地盤を対象とした場合の影響について検討を進めていきたい。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, 2012. 2)地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説 二分冊の②, 2009 3)吉田・三上：時代の要請に応える土の繰返しせん断特性試験の確立を, 地盤工学会誌, Vol. 8, No. 2, pp. 1-5, 2010. 4)井澤ら：地盤の動的解析のための変形特性試験方法の提案と妥当性検証, 第73回土木学会年次学術講演会, 2018. 5)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物, 2012.

表2 応答変位法による杭の照査結果(杭頭2D区間 線路直角方向)

線路直角方向				
	軸方向鉄筋(SD390)	D35-24本	D32-24本	
帯鉄筋(SD390)	D22-ctc125	D22-ctc125		
地盤応答解析手法	従来法	従来法	提案法	ハイブリッド
等価固有周期 T_{eq}	1.036	1.038	1.038	1.038
降伏震度 K_{heq}	0.589	0.588	0.588	0.588
応答塑性率(上部工)	1.94	1.94	1.98	2.10
位置	右杭	右杭	中央	中央
せん断力 V_d (kN)	2810	2870	3090	3115
せん断耐力 V_{vd} (kN)	5890	5880	5410	5400
α	1.0	1.0	1.2	1.2
$\alpha \cdot V_d / V_{vd}$	0.48	0.49	0.69	0.69
破壊モード	曲げ破壊	曲げ破壊	曲げ破壊	曲げ破壊
応答曲率 ϕ_d (1/m)	-0.0186	-0.0281	-0.00515	-0.00513
損傷レベル1制限値 ϕ_{vd} (1/m)	-0.00549	-0.00550	-0.00412	-0.00412
損傷レベル2制限値 ϕ_{md} (1/m)	-0.0209	-0.0208	-0.0217	-0.0217
損傷レベル3制限値 ϕ_{nd} (1/m)	-0.0209	-0.0208	-0.0300	-0.0300
$\gamma_i \cdot \phi_d / \phi_{md}$	0.890	1.35	0.240	0.240
損傷レベル	2	4	2	2
損傷レベル限界値	2	2	2	2
損傷図				