

埋込み基礎の簡易的基礎入力動評価法

正会員 ○鈴木承慈^{*1} 同 福和伸夫^{*2}
同 護 雅史^{*3} 同 飛田 潤^{*4}

相互作用 簡易評価法 埋込み基礎
基礎入力動 インピーダンス 薄層要素法

1. はじめに

埋込みを有する基礎にS波が鉛直下方入射する場合、地盤の揺れと基礎の揺れは異なり、地動に比べ水平入力は減少するが回転入力は励起される。建物の耐震性評価には、このような動的相互作用の影響を適切に考慮することが重要であり、なおかつ簡便に設計に反映できる簡易的評価法の開発が望まれている。2000 年に導入された限界耐力計算では、動的相互作用効果を簡易に評価する方法が提案され、一般建物の設計にも利用可能となったが、入力の相互作用については、水平動の入力損失効果のみを考慮し、回転入力の励起は考慮されていない¹⁾。

本論では、薄層要素法と有限要素法を、容積法を用いた動的サブストラクチャー法によって結合した手法²⁾を精算解として、新たに提案する簡易的基礎入力動評価法と比較し、その妥当性を検討する。

2. 基礎入力動の簡易的評価法

本論では Winkler 仮定に基づき、基礎を底面、側面部分に分解し、基礎入力動を簡易的に評価する方法を提案する。なお、入射波は SH 波、地盤は半無限一様とする。

(1) 最小 2 乗法による評価法

本評価法は地表面基礎の近似解法³⁾を埋込み基礎に拡張したものである。本評価法では必要なパラメータが基礎寸法、地盤のせん断波速度、入射角のみで簡便に結果を得ることができ、斜め入射の場合にも適用できる。半無限一様地盤中にある基礎幅 $2b \times 2c$ 、埋込み深さ E の基礎と座標を図 1 に示す。地動と剛基礎の変位差を最小にするという条件から基礎入力動を決定する。計算では基礎を 5 つの面に分割し、変位差の 2 乗和の合計 W を以下の(1)式で定義する。

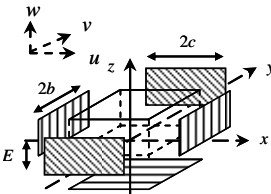


図 1 基礎と座標

$$W = \sum \int \{ (\Delta_x^* - y\Phi_z^* - z\Phi_y^*) - u \}^2 dS + \sum \int \{ (\Delta_y^* + x\Phi_z^* - z\Phi_x^*) - v \}^2 dS + \sum \int \{ (\Delta_z^* + y\Phi_x^* - x\Phi_y^*) - w \}^2 dS \tag{1}$$

ここで S は分離した基礎の面積、 Δ_x^* 、 Δ_y^* 、 Δ_z^* は基礎入力動の各方向の並進成分、 Φ_x^* 、 Φ_y^* 、 Φ_z^* は各軸回りの回転成分、 u 、 v 、 w は地動の各成分を表し、方向は図 1 による。これを基礎入力動の各成分で偏微分し、それらを 0 と置

くことで基礎入力動を得る。この解を簡易解[1]とする。

(2) インピーダンスを重みとした評価法

今、無質量剛基礎が地震波を受けた時の基礎拘束力であるドライビングフォースを F_H 、 F_R とすると、 F_H 、 F_R は、インピーダンスの水平(K_{HH})、回転(K_{RR})、水平—回転連成($K_{HR} = K_{RH}$)成分と基礎入力動から、

$$\begin{Bmatrix} \Delta_x^* \\ \Phi_y^* \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{HH} & K_{HR} \\ K_{RH} & K_{RR} \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} F_H \\ F_R \end{Bmatrix} \tag{2}$$

と表される。本評価法ではインピーダンス、ドライビングフォースを簡易的に評価し、式(2)から基礎入力動を求める。インピーダンスの簡易評価には、簡便性に配慮した護らの手法⁴⁾を水平—回転連成成分にも拡張して用いる。今、地表面基礎の水平(K_{HH}^b)、上下(K_{VV}^b)、回転(K_{RR}^b)インピーダンスを既知とする。底面部分は地表面基礎で表し、側面部分にはこれに埋込み深さと基礎半幅の比 E/b をパラメータに持つ係数 α 、 β を乗じ、(3)から(5)式に示すように、それらの足合せにより埋込み基礎のインピーダンスを評価する。基礎寸法は図 1 と同じである。表 1 に係数一覧を示す。なお、本論では $1/3 \leq E/b \leq 1$ を検討対象とする。

$$K_{HH} = K_{HH}^b + \{ \alpha K_{HH}^b + \beta K_{VV}^b \} \times E/b \tag{3}$$

$$K_{RR} = K_{RR}^b + \{ \alpha K_{HH}^b c^2 + \beta K_{VV}^b (E/2)^2 \} \times E/b \tag{4}$$

$$K_{HR} = \{ \alpha K_{HH}^b c + \beta K_{VV}^b E/2 \} \times E/b \tag{5}$$

ドライビングフォースを求める概念図を図 2 に示す。 F_H は、底面、側面部分のインピーダンスにその位置での変位を乗じて求める ((6)式)。 F_R はそれに基礎底面からの腕の長さを乗じて求める ((7)式)。

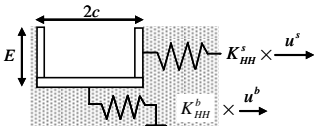


図 2 ドライビングフォース概念図

$$F_H = K_{HH}^b u^b + K_{HH}^s u^s + p_H \tag{6}$$

$$F_R = K_{HR}^s \times u^s \tag{7}$$

ここで K_{HH}^s は側面部分の水平インピーダンスであり、式

表 2 地盤条件

V_s	ρ	ν	h
250m/s	1.8t/m ³	0.45	0.03

表 1 係数一覧

			$1/3 \leq E/b < 1$	$1 \leq E/b < 3$
K_{HH}	α	実部	1	$-0.12 \times (E/b) + 0.12$
		虚部	0.8	
	β	実部	0	0.65
		虚部	0.8	
K_{RR}	α, β	実部	$-0.18 \times (E/b)^2 + 0.62 \times (E/b) + 0.93$	
		虚部	$0.2 \times (E/b) + 0.8$	
			$1/3 \leq E/b \leq 1/2$	$1/2 < E/b \leq 1$
K_{HR}	α	実部	$0.6 \times (E/b) + 0.12$	$0.06 \times (E/b) + 0.29$
		虚部	0.55	
	β	実部	0	$0.09 \times (E/b) + 0.29$
		虚部	0.55	

(3)の第2項を指す。 u^b は基礎底面の変位、 u^s は側面の平均変位である。 p_H は切欠きによる水平力であり、 U_0 を自由地盤の応答、 G を地盤の剛性、 a_0 を無次元振動数($=\omega b/V_s$)とすると、

$$p_H = 4U_0 G c a_0 \sin(E/b \cdot a_0) \quad (8)$$

と表せる。本評価法による解を簡易解[2]とする。

3. 精算解と簡易解の比較

まず、精算解の解析条件について述べる。基礎は正方形で $2b=2c=15\text{m}$ 、埋込み部分は SOLID 要素でモデル化した。平面を 12×12 要素に分割、深さ方向を 1.25m ごとに分割した。簡易解[2]で用いる既知とした地表面基礎のインピーダンスは平面を 48×48 要素に分割したものを用いた。地盤物性を表2に示す。地盤の分割数は地表面から $0.625\text{m} \times 16$ 、 $1\text{m} \times 40$ 、 $2\text{m} \times 50$ 、 $4\text{m} \times 25$ とした。

図3、及び図4に、簡易解[2]で用いるインピーダンス、及びドライビングフォースの比較、図5に簡易解[1](点線)、簡易解[2](実線)による基礎入力動の比較、図6に、簡易解[1]により、入射角 θ をパラメータした基礎入力動を比較した結果を示す。図3の縦軸は、無次元化したインピーダンス、水平(K_{HH}/Gb)、回転(K_{RR}/Gb^3)、水平一回転連成(K_{HR}/Gb^2)であり、図5、6の縦軸は、自由地盤の応答(U_0)に対する基礎底面での水平(Δ_x^*)、回転($b \times \Phi_y^*$)、ねじれ($b \times \Phi_z^*$)応答の伝達係数を示す。横軸は全て無次元振動数 a_0 である。

図3、4から、インピーダンス、ドライビングフォースともに精算解と良く対応している。なお、新たに作成した水平一回転連成成分については、 $E/b=1/3$ から1まで1/15ずつ変化させて検証した結果、埋込みが深くなると簡易解は過大評価となる傾向が見られたが、図5に示した基礎入力動では概ね対応する結果が得られた。さらに、図5から、簡易解[1](点線)は水平入力で埋込みが深くなると値が0まで落ち込んでいるが、簡易解[2](実線)では水平入力、回転入力ともに精算解と良く対応していることが分かる。また、図6から、簡易解[1]は(b)回転、(c)ねじれにおいて、ピーク振動数が精算解に比べて高振動数となり、そこではやや過大評価となっているが、入射角による変化を概ね捉えることが出来ている。

以上より、今回検討した範囲では、簡易解[2]は十分実用に供しうる評価法であり、また、簡易解[1]もある程度傾向を捉えることができたと言える。

4. まとめ

本論では基礎入力動の簡易評価手法を新たに提案した。簡易解[1]では埋込み基礎の幾何学的な関係から、簡易解[2]は地表面基礎のイ

ンピーダンスを重みとして基礎入力動を評価した。本評価法の簡便さを考慮すると十分な精度であると言える。今後はさらなる簡便性を志向するとともに、足合せで評価する利点を活かせる不整形基礎や多層地盤へと展開するなど、実設計で活用しやすいよう改良が必要である。

参考文献

- 1) 国土交通省ほか：2007年度版建築物の構造関係技術基準解説書，2007.8
- 2) 文学章：地盤と建物との動的相互作用における基礎形式・基礎形状・隣接建物の影響に関する解析的研究，名古屋大学学位論文，2006.3
- 3) 日本建築学会：入門・建物と地盤との動的相互作用，pp.55-61,1996
- 4) 護雅史ほか：根入れを有する直接基礎における側面と底面の動的相互作用特性とそれらの重合による地盤ばねの実用的評価手法の検討，日本建築学会構造系論文集，No.626，pp.535-542,2008

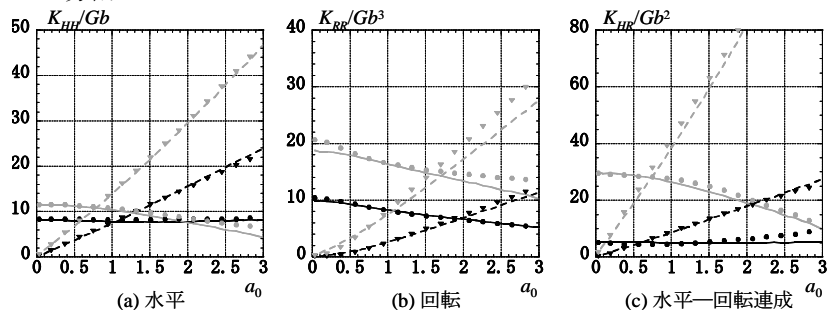


図3 インピーダンス

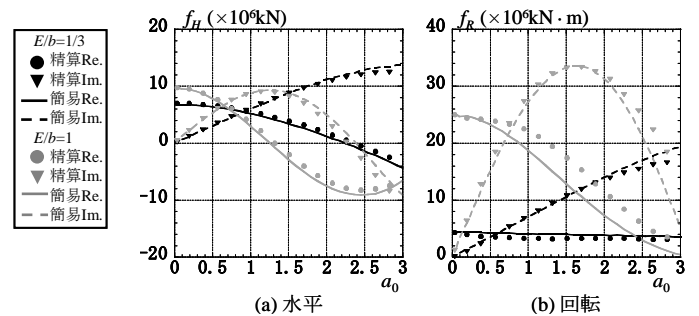


図4 ドライビングフォース

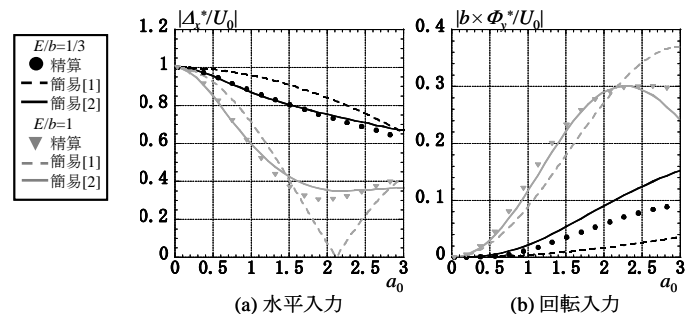


図5 埋込み剛基礎の基礎入力動 (鉛直下方入射)

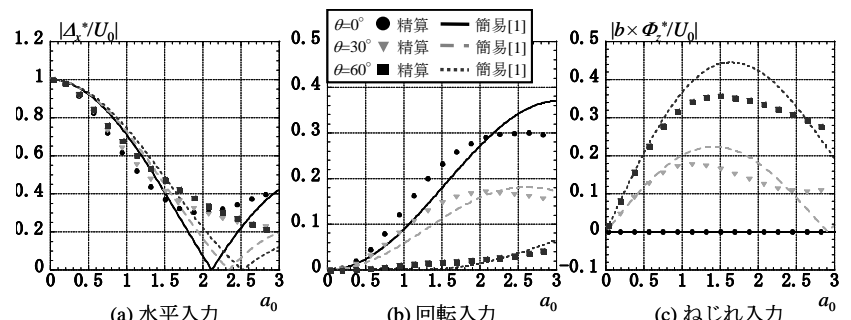


図6 斜め入射時の埋込み剛基礎の基礎入力動 ($E/b=1$)

*1 名古屋大学大学院環境学研究科・大学院生
*2 名古屋大学大学院環境学研究科・教授・工博
*3 名古屋大学大学院環境学研究科・准教授・博士(工学)
*4 名古屋大学大学院環境学研究科・准教授・工博

*1 Grad.Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ.
*2 Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.
*3 Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.
*4 Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.