

地盤液状化時の許容応力度計算方法に関する提案

その1 計算方法の概要

正会員 ○二木 幹夫* 同 佐久間 博文**
同 菅谷 憲一* 同 久世 直哉***
同 余川 弘至*

液状化 許容応力度計算 戸建住宅
液状化対策工法

はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災により、海岸や浦・潟の埋立地などで、地盤の液状化が発生し、戸建住宅などの小規模建築物には傾斜、沈下などの被害が生じた¹⁾。これらの被害を軽減するために、小規模建築物に対する液状化防止・軽減対策(以下、液状化対策)の検討や研究が進められてきている。しかし、敷地・施工条件や液状化対策費用が高額となるものが多いなどの理由から、対策工を施したケースは多くはない。液状化対策が進まない理由の一つとして、液状化地盤の取り扱いが明確でないこともあげられる。平成 13 年国土交通省告示(以下、告示)第 1113 号の第 2 では、「地震時に液状化するおそれのある地盤にあっては、建築物の自重による沈下その他の地盤の変形等を考慮して建築物又は建築物の部分に有害な損傷、変形及び沈下が生じないことを確かめなければならない」とあり、地震時の建物の沈下量や地盤の沈下量に関して、明確な数値や検討方法については示されていない。そのため、戸建住宅向けの液状化対策の仕様については、FL 値^{2), 3)}、PL 値⁴⁾および Dcy²⁾などの結果をもとに決定されていることがある。しかし、FL 値や PL 値は、液状化発生の可能性や危険度を判定するための方法、Dcy は液状化に伴う地盤の変形量(沈下量)を予測する方法であり、建物の沈下・傾斜の発生を直接予測する方法ではない。

そこで本研究では、建物の沈下・傾斜の発生の有無を予測する簡易的な方法として、告示に示される地盤の許容応力度計算方法にならった式を用いて、液状化時および液状化対策実施後における地盤の許容応力度計算方法を提案し検討を行った。その 1 では、検討方法について示し、その 2 では、モデルケースのもとで検討した事例について示す。

液状化時の地盤の許容応力度計算方法

地盤の許容応力度は、想定される破壊形態の違いにより、局所せん断破壊およびパンチング破壊に分け、それぞれ異なる計算式を用いて算定した。さらに、それらの計算式に、FL 値および FEM による数値解析(LIQCA2D11)により推定される過剰間隙水圧の上昇を取り入れること

で、液状化の影響を考慮した(詳細はその 2 に示す)。以下に、それぞれの計算方法を示す。

(1)局所せん断破壊

地盤が液状化した場合に、地盤が局所せん断すると想定した場合に用いた算定式を式(1)~(3)に、イメージ図を図 1 に示す。

$$q_a = \frac{2}{3}(i_c \cdot \alpha \cdot C \cdot N_c + i_r \cdot \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r + i_q \cdot \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q) \quad (1)$$

$$\gamma_1 = \gamma_{1' liq} + \frac{z}{B} \cdot (\gamma_1' - \gamma_{1' liq}) \quad (2)$$

$$\gamma_1' = (1 - r_u) \cdot \gamma_1'' \quad (3)$$

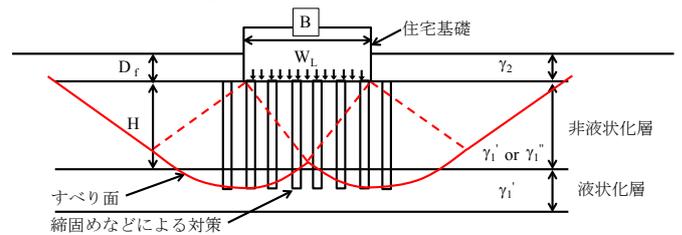


図 1 局所せん断破壊のイメージ図

ここで、 q_a は地盤の許容応力度、 i_c, i_r, i_q は基礎に作用する荷重の鉛直方向に対する傾斜角に応じた数値、 N_c, N_r, N_q は地盤内部の摩擦角に応じた支持力係数、 α, β は基礎荷重面の形状に応じた係数、 γ_1 は基礎荷重面下にある液状化の影響を考慮した地盤の単位体積重量、 γ_2 は基礎荷重面より上方にある地盤の単位体積重量、 D_f は基礎荷重面までの深さ、 C は基礎荷重面下にある地盤の粘着力、 $\gamma_{1' liq} (=0)$ は液状化層の地盤の単位体積重量、 γ_1' は非液状化層の地盤の単位体積重量、 γ_1'' は震動前の地盤の単位体積重量、 H は非液状化層の厚さ、 B は基礎荷重面の長さ、 r_u は過剰間隙水圧比である。

(2)パンチング破壊

地盤が液状化した場合に、地盤がパンチング破壊すると想定した場合に用いた算定式を式(4)~(6)に、イメージ図を図 2 に示す。

$$R_a = \frac{2}{3} R_f \quad (4)$$

$$R_f = \frac{1}{2} \cdot K_0 \cdot \gamma_1' \cdot H^2 \cdot \tan \phi \cdot (B + L) \cdot 2 \quad (5)$$

$$\gamma_1' = (1 - r_u) \cdot \gamma_1'' \quad (6)$$

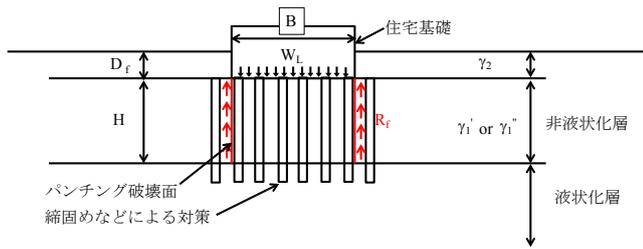


図2 パンチング破壊のイメージ図

ここで R_0 は地盤の許容応力(支持力)、 R_f はパンチング破壊面上の摩擦力、 K_0 は静止摩擦係数、 γ_1' は非液状化層の地盤の単位体積重量、 γ_1'' は震動前の地盤の単位体積重量、 H は非液状化層の厚さ、 B は基礎幅、 L は基礎長さである。
検討条件

東日本大震災により液状化の被害を受けた浦安市のある地区の地盤条件等から検討用モデルを設定し検討を行った。

(1)地盤条件

モデル地盤の各層の物性値については、平成 23 年度実施のボーリング調査、平成 4 年度に実施されたボーリング調査の各データおよび室内試験結果を参考に設定した。表 1 に想定したモデル地盤の物性値一覧を示す。

表 1 モデル地盤の物性値一覧

土質名	N値	層厚(m)	細粒分含有率 (%)	密度 (t/m ³)	せん断波速度 (m/s)	ポアソン比	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kPa)	間隙比	液状化発生の有無
			Fc	ρ	Vs	v	φ	c	e ₀	
Bs (乾燥)	6	1	18	1.80	145	0.3	31	0.00	0.79	無
Bs (飽和)	6	1	18	1.80	145	0.3	31	0.00	0.79	有
Fs	4	6	22	1.80	127	0.3	30	0.00	1.02	有
As1	15	2	21.9	1.80	197	0.3	35	0.00	1.03	無
As2	7	2	31	1.70	153	0.3	30	0.00	1.25	有
Ac1	2	20	93.6	1.50	133	0.3	0	13.00	2.34	無
Ac2	14	13	93.6	1.50	220	0.3	0	91.00	2.58	無
Ds	74	-	10	2.00	388	0.3	38	0.00	0.71	-

(2)入力地震動

入力地震動には、東日本大震災時に夢の島地震観測所で計測された地震動波形を工学基盤に引き戻した波形を採用した(図 3 参照)。また、FL 値を計算する場合の入力条件は、 $M=9.0$ 、 $\alpha_{max}=160gal$ とした。

(3)住宅モデル

解析検討等に用いる住宅のモデルは、浦安市の住宅状況および法適合性などを考慮して決定した。住宅モデルは、木造 2 階建て、基礎形式はべた基礎を想定した。モデル住宅の概要を表 2 に、間取りを図 4 に示す。図 4 の

住宅モデルから求められる地盤の許容応力度を検討するための設計照査用の接地圧は、長期で $10kN/m^2$ である。

(4)液状化対策工法

代表的な液状化対策工法として、施工品質の確認ができ、施工品質確保のための施工管理手法が比較的確立している密度増大工法を検討対象とした。液状化対策の仕様が異なる 2 ケースおよび無対策地盤について地盤の許容応力度の検討を行った(その 2 に示す)。

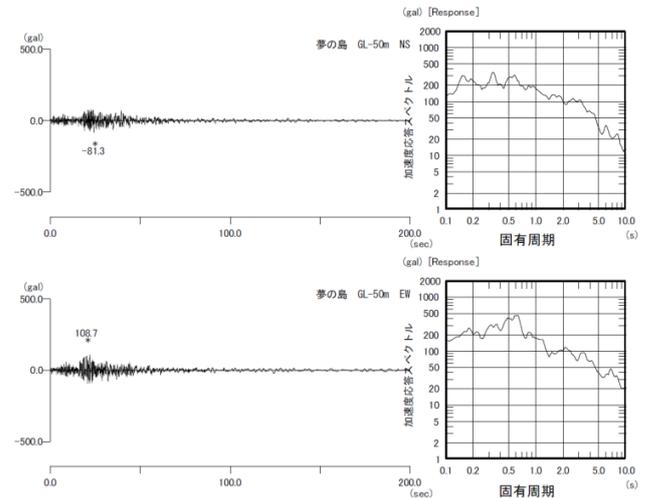


図 3 入力地震動

表 2 住宅モデルの概要

1階床面積 (m ²)	2階床面積 (m ²)	延べ床面積 (m ²)	建蔽率 (%)	容積率 (%)
82.81	72.87	155.68	49	92



図 4 住宅モデルの間取り図

まとめ

地盤液状化時の許容応力度計算方法を紹介し、検討条件を示した。その 2 では、これらの条件に基づいて検討した結果について述べる。

謝辞 これらの検討は、浦安市の「市街地液状化対策実現可能性検討調査」の一環として実施したものである。記して謝意を示す。

参考文献 1)Tokimatsu, K., and Katsumata, K., : Liquefaction -induced Damage to buildings in Urayasu City During The 2011 Tohoku Pacific Earthquake, Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, pp665-pp674, 2012. 2)日本建築学会: 建築基礎構造設計指針,2008 3) 日本道路協会編集: 道路橋示法書 (V耐震設計編)・同解説,2002. 4)建設省土木研究所: 土木研究所資料第 1729 号, 地震時における砂質地盤の液状化判定法と耐震設計への適用に関する研究, 1981.

* ベターリビングつくば建築試験研究センター, 博士(工)
 **ベターリビングつくば建築試験研究センター, 博士(農)
 ***ベターリビングつくば建築試験研究センター, 修士(工)

* Tsukuba Building Research and Testing Laboratory, Center for Better Living, Dr. Eng.
 ** Tsukuba Building Research and Testing Laboratory, Center for Better Living, Dr. Agr.
 *** Tsukuba Building Research and Testing Laboratory, Center for Better Living.