隣接家屋の影響を受ける戸建て住宅の液状化被害メカニズムの解明

名古屋大学　学生会員　大庭拓也
名古屋大学　正 会 員　野田利弘　中井健太郎
(株)不動テトラ　正 会 員　竹内秀克

1. はじめに

2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震では，千葉県浦安市の住宅地での液状化や噴砂による被害は甚大で[1]，多くの戸建て住宅が不同沈下等の被害を受けた．東日本大震災以前は戸建て住宅の液状化被害自体があまり重要視されていなかったため，今日までにその被害形態に着目した研究は少なく[2]，その被害メカニズムは十分に解明されているとは言えない．本報では戸建て住宅の液状化被害に関して，その被害形態を隣接家屋の影響に注目して数値解析的に検討する．解析コードは，土の骨格構造とその働きの差異によって砂から粘土，両者が混在した中間土を同じ理論的枠組みの中で記述する弾塑性構成式（SYS カムクレイモデル[3]）を搭載した水～土骨格連成有限変形解析コード[4),5)]で，静的も動的も区別なく扱う事ができる．

2. 解析条件

解析は平面ひずみ条件で用いた有限要素メッシュを**図-1** に示す．洪積層(非液状化層)5m の上に，相対密度 Dr=50%の沖積砂層(液状化層)が 10m 堆積している．解析に用いた弾塑性性状の一覧を**表-1** に示す．これらは硅砂 7 号の力学試験結果を SYS カムクレイモデルで再現することにより決定している．各層で比体積と構造の程度は均一と仮定し[6]，土被り圧に応じて過圧密比を分布させた．建物は，底部 7m，高さ 3.5m の木造戸建て住宅を想定し，別途実施された遠心模型実験に使用したアクリルと同物性値となる弾性係数[7]を用い，1 相系弾性体としてモデル化した．地表面は排水境界，地盤の側面と底面は非排水境界とし，地下水位は GL-1m とした．ただし，（水～土二相系の）飽和土の解析のため，地下水位以浅の不飽和部分に相当する要素はその 4 辺とも大気圧となるような排水条件を与えた．地震動は，地盤底面の全有限要素節点の水平方向に，東日本大震災で浦安地区において観測された地震波を入力した（**図-2**）．地盤下端節点は底面粘性境界（Vs=300m/sec）を設け，地盤両側端要素には側方境界要素単純せん断変形境界[8]を設けた．

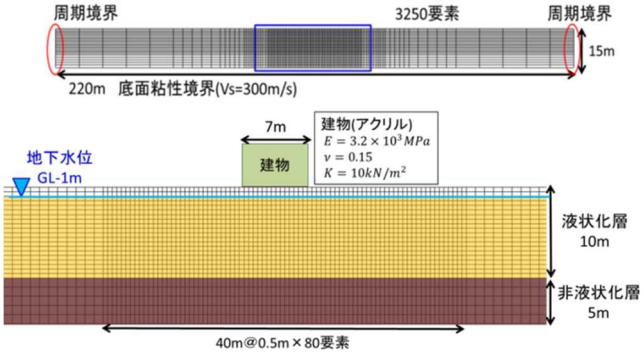

図-1　有限要素メッシュおよび境界条件

表-1　解析に用いた弾塑性性状

珪砂7号の材料定数					
≪弾塑性パラメータ≫			≪発展則パラメータ≫		
圧縮指数	$\tilde{\lambda}$	0.045	正規圧密土化指数	m	0.080
膨潤指数	$\tilde{\kappa}$	0.002	構造劣化指数	a	2.200
限界状態定数	M	1.200		b	1.000
NCLの切片	N	1.980		c	1.000
ポアソン比	ν	0.150		c_s	1.000
土粒子密度	ρ_s	2.636	回転硬化指数	b_r	3.500
透水係数 (cm/s)	k	1.0×10^{-3}	回転硬化限界定数	m_b	0.900
≪初期値≫					
液状化層					
比体積	v_0	1.900	静止土圧係数	K_0	0.600
構造の程度	$1/R^*_0$	2.000	異方性の程度	K_β	0.600

3. 隣接家屋による液状化傾斜形態の検討

図-3 に住宅 1 棟での地震終了後水圧消散時のせん断ひずみ ε_s 分布を，**図-4** には同時刻の変位ベクトルを示す．**図-3** より，せん断ひずみは建物中心から左右対称に分布する様子がわかる．また**図-4** より地表面の変位ベクトルは建物周辺 4m までは地盤深部方向を向き，沈み込む挙動を，それ以上建物から離れた場所では水平方向を向き，地盤を周辺に押し広げる挙動を示している．これより隣接距離が 4m より近い場合での隣接時には，隣接建物を引き込み内向きに傾斜し，それ以上離れた距離での隣接では外向きに傾斜していくと予想される．

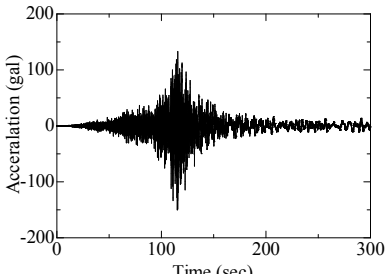

図-2　入力地震波

キーワード　液状化，戸建て住宅，不同沈下，干渉，水～土連成有限変形解析
連絡先　〒464-3833　名古屋市千種区不老町　名古屋大学大学院　工学研究科　社会基盤工学専攻　TEL 052-789-4621

つまり，1 棟単独の場合の地盤内変位ベクトルの向きを見れば，隣接建物の影響を予測できると考えられる．実際に図-5 の隣接距離 5m と 2m での地震終了後水圧消散時のせん断ひずみ ε_s 分布をみると，図-3 の 1 棟の場合と異なり，隣接家屋の影響を受けている．すなわち，2m では互いに干渉しあって重なり合うように，5m では反発しあうようにせん断ひずみが分布している．また図-6 に隣接距離を 2m～5m まで 1m ずつ離した場合の各地表面沈下量，表-2 に各建物の傾斜勾配を示す．これらからも変位ベクトルの向きの境となる 4m では隣接家屋の影響を見掛け上受けていないようになり，4m より近づくと互いに内向きに，4m より離れると外向きに建物が傾斜する結果となり，一棟単独の変位ベクトルの向きを調べることによって建物傾斜方向を説明できる．また，上記の解析は平面ひずみ条件であったが，図-6 に建物が奥行き方向にもある場合を想定して，隣接距離 2m で 4 棟の建物が隣接している場合の 3 次元での解析結果を示す．これより 4 棟は互いに内向きに，4 棟の中心部に向かって傾斜し，3 次元条件でも 1 棟単独の場合の変位ベクトルの向きから説明可能である．

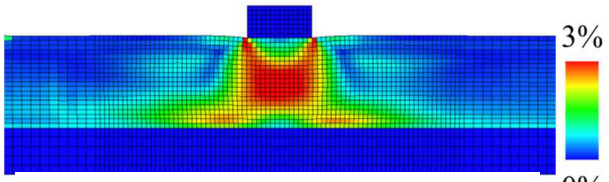

図-3　1 棟の場合におけるせん断ひずみ

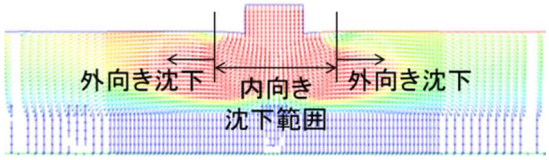

図-4　1 棟の場合における変位ベクトル

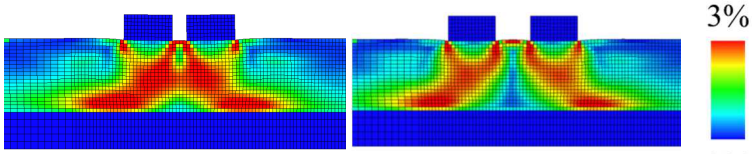

図-5　2m 隣接と 5m 隣接時のせん断ひずみ分布

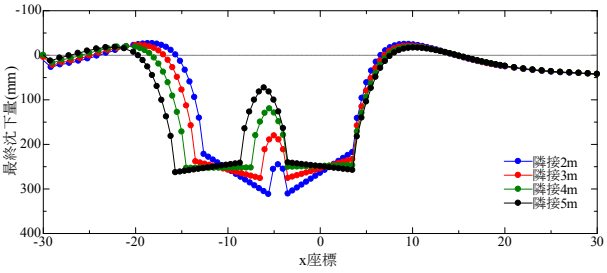

図-6　隣接距離 2m～5m での地表面沈下量

4. おわりに

液状化しうる砂地盤上に建設された建物の液状化被害形態に関し隣接家屋の影響に着目して以下のことが明らかになった．①隣接建物の傾斜方向は 1 棟単独の場合の地震後の地盤内の変位ベクトルの向きを用いて説明することができる．②本解析の地盤や建物の条件では，木造平屋を想定した建物では，4m より近づくと互いに内向きに，4m より離れると外向きに建物が傾斜していく．また③4 棟の建物が奥行き方向にも隣接している場合，建物は 4 棟の中心部に向かい傾斜していき，変位ベクトルの向きで傾斜方向を 3 次元的な場合の挙動に関しても説明できる．今後，基盤傾斜や地盤の不均質性の影響だけでなく，新潟地震における川岸町県営アパートの転倒の方向性についても数値解析で検討してみたい．

表-2　隣接距離 2m～5m での建物勾配

	左家屋	右家屋
隣接距離	勾配(1/1000)	勾配(1/1000)
2m	12.845	13.284
3m	5.379	6.057
4m	0.105	0.540
5m	3.020	2.415

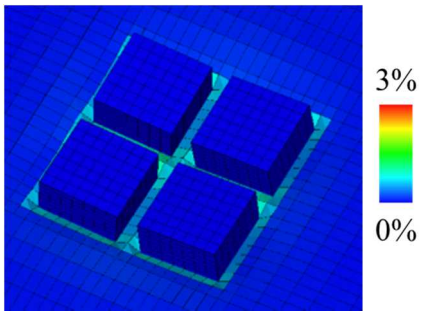

図-7　隣接距離 2m での 4 棟隣接

参考文献

1) 安田進他(2011):東北地方太平洋沖地震による…，土木学会第 57 回年次学術講演会地盤工学ジャーナル，Vol.7, No.1, pp.103-115, 2) 大岡弘(1975):新潟地震における…，関東支部研究報告集, 3) Asaoka, A. et al. (2002): An elasto-plastic description..., S&F, 42(5): 47-57. 4) Asaoka, A. and Noda, T. (2007): All Soils All States All Round..., International Workshop on Constitutive Modeling..., Hong Kong, 11-27.　5) Noda, T. et al. (2008): Soil-water coupled finite deformation analysis…, S&F, 48(6), 771-790. 6) Noda, T.et al. (2005): Progressive consolidation settlement of..., S&F, 45(5), 39-51. 7) 浅層改良による宅地の液状化対策委員会: 浅層盤状改良による宅地の液状化対策の合理的な設計方法の研究 8)吉見吉昭，福武毅芳(2005): 地盤液状化の物理と評価・対策技術，技報堂.