

(1)研究題目

地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析に関する研究

(2)論文要旨

研究の目的：

平成 19 年度に港湾基準が改訂され、港湾施設の設計に信頼性設計法が導入された。しかしながら、地盤の液状化判定や地震時の施設の変形量照査に用いる地震応答解析において、解析条件となる地盤物性は確定的に取り扱われている場合がほとんどである。そのため、地震応答解析分野における地盤物性のばらつきを考慮した信頼性解析への対応が望まれている。本研究では、地盤の液状化判定等に当り、一次元地震応答解析手法としてよく用いられる計算プログラム「SHAKE」を対象に、地盤物性のばらつきが地震応答解析結果や液状化判定結果に与える影響を検討した。また、地震時の変形量照査に当り、2 次元地震応答解析手法としてよく用いられる「FLIP」を対象に、地盤物性の空間自己相関性(空間的な位置関係が近い地盤は似通った特性を有する性質)を考慮した解析を行った。

研究の内容：

検討対象とする地盤モデルは図－1 に示すとおりであり、このうち砂層②と粘性土層について地盤物性のばらつきを考慮することとした。1 次元地震応答解析(SHAKE)では、地下水位を砂層②の上面(G. L. -5m)とし、当該砂層②について SHAKE の結果を用いて液状化判定(液状化安全率 FL の算定)を行った。地盤物性のばらつきの影響は、1 回の試行に用いる土質定数を、設定した確率分布に従うようランダムに発生させ、それを試行ごとに定数を変更して相当回数実施し(本研究では 1,000 回)、結果について統計処理を行う手法(以下「MCS」)により評価した。なお、SHAKE には図－1 の各層をさらに細分化したモデルを用いたが、細分化した各層の定数設定に当っては、深度方向の空間自己相関性を考慮した。

FLIP による 2 次元地震応答解析については、地盤物性のばらつきを考慮した解析結果と確定的な物性による解析結果の比較を行うことにより、地盤物性の空間自己相関性を考慮した場合の傾向把握を行った。なお、地盤物性の空間的ばらつきは、山崎&篠塚のモデルを使用し、位相角を $0 \sim 2\pi$ まで一様乱数によってランダムに設定することにより考慮した(図－2 参照)。

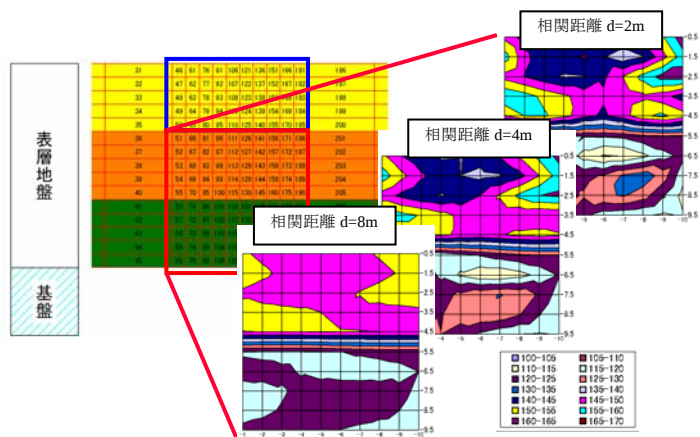
主要な結論：

1 次元地震応答解析(SHAKE)について、地盤物性のばらつきを考慮した MCS の解析結果の平均的な応答値と、地盤物性の平均値を用いて確定的に解析した結果は異なる場合があることが確認された(図－3 参照)。今回の条件では、液状化安全率 FL は、MCS の結果の平均値の方が、確定的な解析結果より大きな値となる傾向が得られた(表－1、図－4 参照)。

2 次元地震応答解析(FLIP)の解析結果について、加速度及び変位の鉛直方向分布では、「液状化未考慮」の場合には、確定解析値と平均値はほぼ一致した。一方、「液状化考慮」の場合には、確定解析値を越える場合と越えない場合があるが、明確な傾向は確認できない。また、相関距離 d が長くなる(空間的な均質性が高い)ほど、応答加速度及び変位において、変動係数は小さくなることが確認された(表－2 参照、図－5 参照)。



図－１ 検討土層モデル

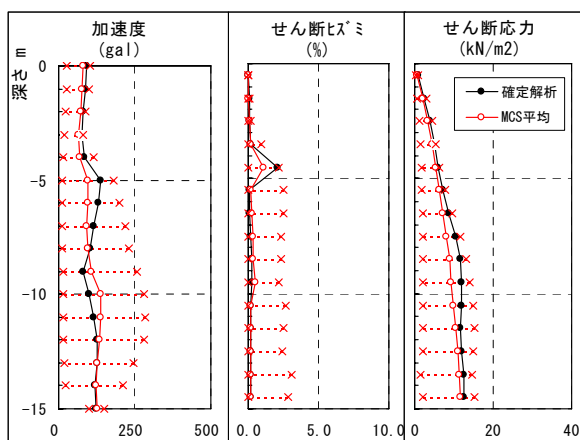


図－２ 地盤モデル（せん断波速度 V_s : m/s の分布コンター図）

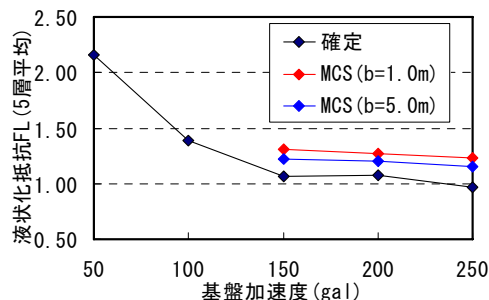
表－１ 液状化安全率 FL 算定結果

解析ケース	基盤加速度	検討方法	相関距離 b (m)	項目	検討深度(対象: 砂層②) G.L. (m)					5層平均※
					-5~-6m	-6~-7m	-7~-9m	-9~-10m	-10~-11m	
150gal	確定	MCS	1.0	FL	1.28	1.12	0.99	0.95	0.97	1.06
				FL'	1.44	1.35	1.28	1.24	1.25	1.31
				FL'/FL	1.13	1.20	1.29	1.31	1.29	1.23
	5.0	MCS	5.0	FL	1.38	1.27	1.18	1.14	1.16	1.23
				FL'/FL	1.08	1.13	1.19	1.20	1.19	1.15
				FL'/FL	1.03	1.09	1.17	1.17	1.14	1.12
200gal	確定	MCS	1.0	FL	1.29	1.12	0.99	0.96	1.02	1.08
				FL'	1.37	1.28	1.23	1.21	1.24	1.27
				FL'/FL	1.07	1.15	1.25	1.26	1.22	1.18
	5.0	MCS	5.0	FL	1.33	1.22	1.15	1.13	1.16	1.20
				FL'/FL	1.03	1.09	1.17	1.17	1.14	1.12
				FL'/FL	1.09	0.99	0.89	0.90	0.98	0.97
250gal	確定	MCS	1.0	FL	1.27	1.23	1.23	1.22	1.23	1.23
				FL'	1.16	1.25	1.37	1.35	1.26	1.27
				FL'/FL	1.22	1.17	1.14	1.12	1.14	1.16
	5.0	MCS	5.0	FL	1.12	1.19	1.27	1.24	1.16	1.20
				FL'/FL	1.09	0.99	0.89	0.90	0.98	0.97
				FL'/FL	1.03	1.09	1.17	1.17	1.14	1.12

※MCSの5層平均については、1回の試行毎に5層の平均値をとったものの、全試行回数における平均



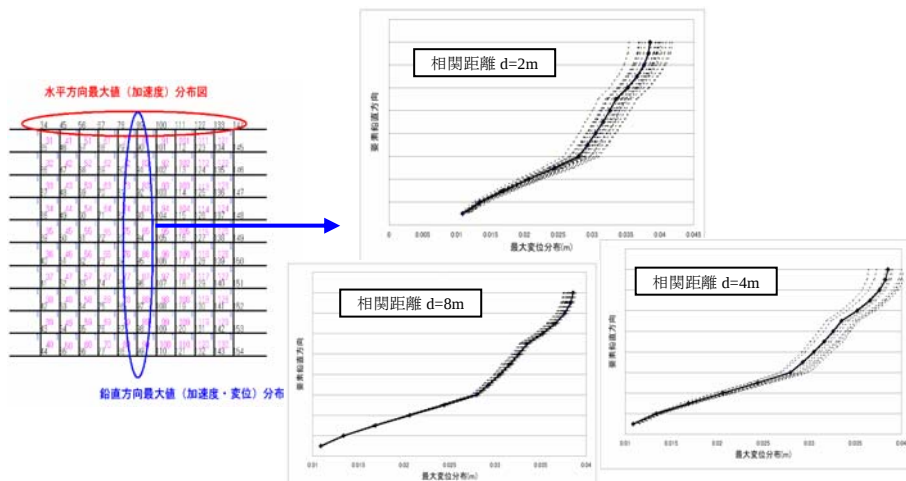
図－３ 地盤物性のばらつきを考慮した解析結果の平均応答値と確定的に解析結果の比較



図－４ 液状化安全率 FL 算定結果

表－２ 各ケース毎の地表面最大応答値の平均値，変動係数の比較

応答値項目	基盤加速度25gal(0.25m/s²)				基盤加速度100gal(1.00m/s²)			
	液状化あり		液状化なし		液状化あり		液状化なし	
	加速度 (m/s²)	変位 (m)	加速度 (m/s²)	変位 (m)	加速度 (m/s²)	変位 (m)	加速度 (m/s²)	変位 (m)
相関距離								
確定解析値	0.4523	0.0147	0.3851	0.0037	0.4638	0.0644	1.4240	0.0386
d=2m	0.4086	0.0101	0.3587	0.0037	0.6031	0.0569	1.3786	0.0390
変動係数	0.0436	0.2030	0.0045	0.0192	0.0607	0.0679	0.0080	0.0436
d=4m	0.4030	0.0093	0.3589	0.0037	0.5989	0.0554	1.3767	0.0390
変動係数	0.0592	0.3969	0.0019	0.0182	0.0842	0.0559	0.0062	0.0348
d=8m	0.3998	0.0076	0.3584	0.0036	0.6128	0.0565	1.3737	0.0382
変動係数	0.0536	0.2633	0.0017	0.0059	0.0465	0.0485	0.0038	0.0112



図－５ 変位最大値分布（鉛直分布：実線-確定解析，点線-ばらつき考慮）