

耐震性能設計法とコーン貫入試験

性能設計 サイズミックコーン 動的応答

山口大学 正会員 三浦 房紀  
山口大学 国際会員 兵動 正幸  
フジタ 国際会員 岸下 崇裕  
地盤試験所 正会員 岡 信太郎  
地盤試験所 宮坂 享明

1. はじめに

コーン貫入試験(CPT)法は、静的圧入による源位置地盤調査試験法の一つである。特に比較的軟弱な地盤では、連続した信頼性の高いデータが得られるため、欧米では最も一般的な地盤調査試験法として定着している。特に、地中、基礎や土構造物といった地震時の挙動が地盤の応答に影響される構造物の耐震性能設計では、データの信頼性やばらつきが変形量の予測に影響するものと思われ、CPT法は性能設計における有用な地盤調査法のひとつとして期待される。

本報告では、標準貫入試験とCPT法により得られた結果を基に地震応答解析を実施し、試験法の違いが地震応答に与える影響について検討を行った。

2. 概要

解析対象地盤は、岡ら<sup>1),2)</sup>により標準貫入試験、PS検層およびCPT試験の結果が報告されている地盤で行った。図-1に標準貫入試験の結果およびCPT試験により換算されたN値を示す。図中の換算N値は、Campanellaらの提案式により求められた値を、修正換算N値は、標準貫入試験結果を基にしてローライゼーションした値を示している。

地震応答解析は、一次元等価線形解析手法を用いて行った。解析に用いた初期せん断剛性 $G_0$ は、N値より道路橋示方書の式に従い換算したせん断波速度 $V_s$ 、PS検層により求められた $V_s$ およびCPT試験のサイズミックコーンより得られた $V_s$ の値を用いて算出した。解析検討は、標準貫入試験より得られたN値を用いたcase1、CPT試験より得られた換算N値を用いたcase2、修正換算N値を用いたcase3、PS検層より得られた $V_s$ を用いたcase4およびサイズミックコーンより得られた $V_s$ を用いたcase5の5ケース実施した。表-1に解析に用いた $V_s$ を、図-2に $V_s$ の深度分布を示す。また、表-1下部には、各ケースの固有振動数を示す。図-2に示されるように、標準貫入試験の結果に比べ、CPT試験の結果(case2, case5)やPS検層の結果(case4)は、大きくなる傾向にある。この結果は、

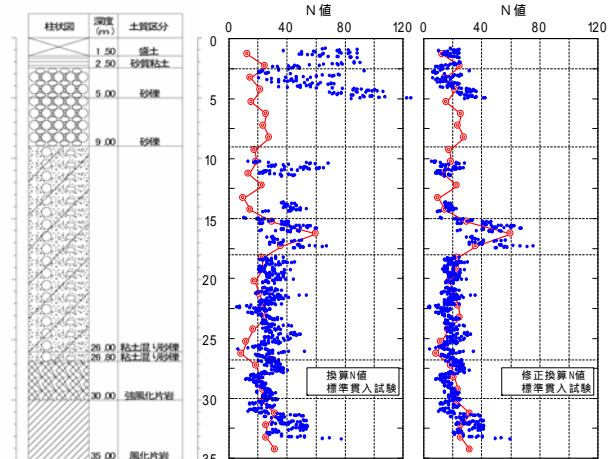


図-1 標準貫入試験結果およびCPT試験結果

表-1 解析ケースおよび解析に用いた定数

土質名	層厚 (m)	単位 体積重量 ( $kN/m^3$ )	平均せん断波速度 (m/sec)				
			case1	case2	case3	case4	case5
表層	2.5	18.0	213	330	217	165	165
砂礫層	6.5	19.0	224	318	223	322	405
粘土混じり礫層	6.0	18.0	255	343	256	327	342
粘土混じり礫層	3.0	18.0	348	320	331	336	312
粘土混じり礫層	8.8	18.0	267	308	269	283	306
強風化片岩層	3.2	20.0	222	238	218	271	274
風化片岩層	5.0	20.0	242	265	243	352	287
固有振動数 (Hz)			1.774	2.158	1.771	2.089	2.152

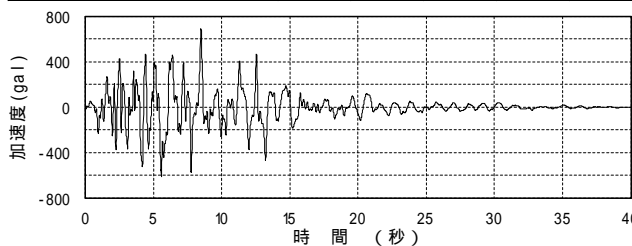


図-3 入力加速度波形

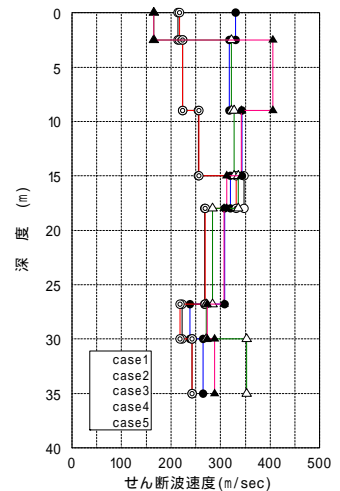


図-2 せん断波速度分布図

CPT試験やPS検層の結果が、標準貫入試験の結果に比べ地盤が固いことを意味している。この傾向は、表-1下部に示す固有振動数からも判断される。等価線形手法に用いる地盤の動的変形特性は、今津・福武<sup>3)</sup>の式を用いた。図-3に入力加速度波形を示す。入力加速度は、1995年兵庫県南部地震JR鷹取駅の観測波形を用い、G.L-35m位置に2Eとして入力した。

### 3. 解析結果

図-4 に等価線形手法における剛性低減率  $G/G_0$  および最大ひずみの分布を比較した図を示す。図中の剛性低減率は、収束剛性を初期剛性で割った値を示している。図で示されるように、剛性低減率は、G.L.-15m より浅いところで標準貫入試験の結果(case1)が、CPT 試験結果(case2、case5)と PS 検層の結果(case4)に比べ小さくなった。また、減衰定数は、逆に標準貫入試験の結果が大きくなった。これは、図-2 に示されるように、標準貫入試験より求められる  $V_s$  が小さく、CPT 試験や PS 検層に比べ柔らかいと判断されたためである。

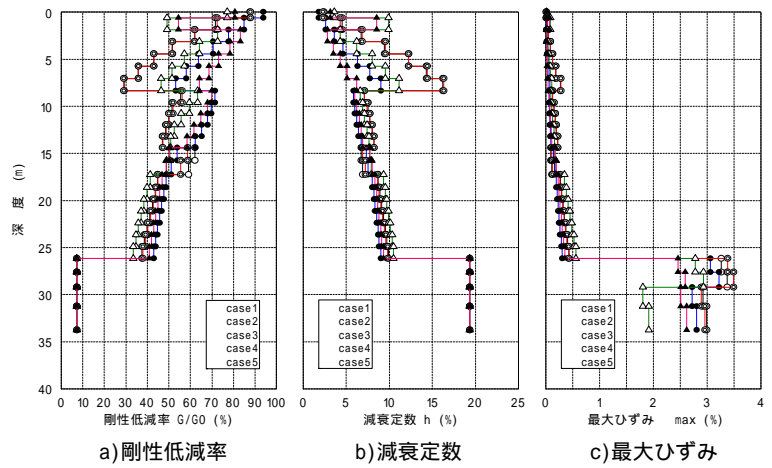


図-4 収束剛性および最大ひずみ分布

図-5 に最大応答値の深度方向の分布図を示す。図中の値は、絶対最大値量を示している。図で示されるように、調査方法による初期剛性 ( $V_s$ ) の違いは、最大加速度と最大変位に大きく影響しているが、最大速度に関してはあまり影響していないことがわかる。

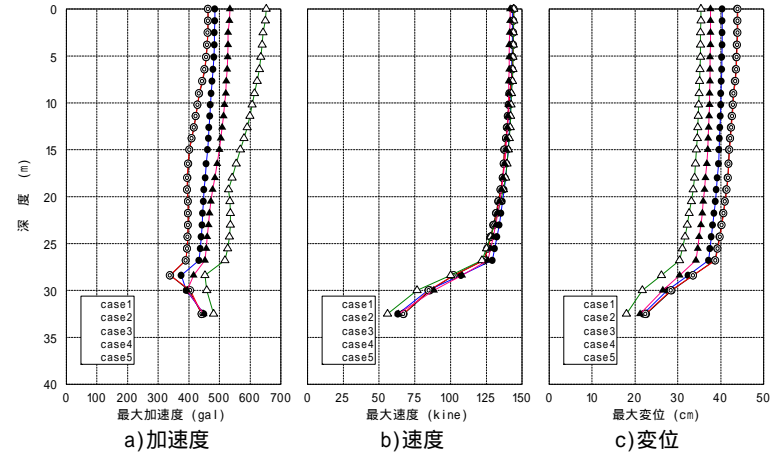


図-5 絶対最大応答値分布

CPT 試験の結果(case2, case5)および PS 検層の結果(case4)は、標準貫入試験の結果(case1)に比べ最大加速度が大きく、最大変位が小さくなっている。これは、初期地盤の剛性が、標準貫入試験に比べ固く評価されているためである。特に case4 の結果が、顕著に差が生じている。これは、case4 の G.L.-30m 以深の  $V_s$  が 352m/sec と最も大きく、その結果 G.L.-30m 以深の最大ひずみが、他のケースに比べ小さくなったためによるものと考えられる。このことより最大加速度や最大変位は、地盤の初期剛性に加え、深部の初期剛性に大きく影響されるものと思われる。

図-6 に地表部における標準貫入試験による解析結果(case1)との比率を示す。図中の印は加速度の結果を、印は変位の結果を示している。また図中の黒塗りは、線形解析を行った結果の比較を示している。図で示されるように、標準貫入試験による解析結果に対する誤差は、加速度では最大でプラス側に 40%、変位では最大でマイナス側に 20%生じている。この結果、標準貫入試験による解析は、加速度により耐震性能を照査する構造物には危険側に、変位により照査する構造物は安全側に評価しているものと判断される。また、等価線形解析の誤差と線形解析の誤差は、変位ではほぼ同等であるのに対し加速度で大きく違いが生じる結果となった。このことから、地盤を非線形化することによる調査手法の違いによる誤差は、加速度に大きく影響するものと思われる。

図-6 地表応答の比較

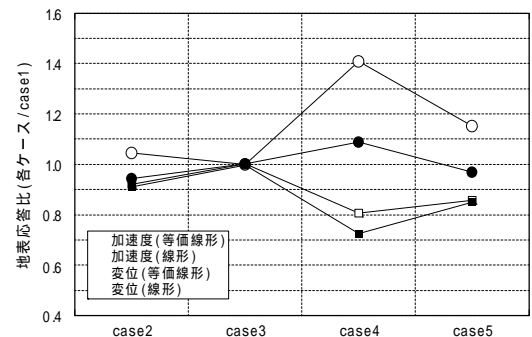


図-6 地表応答の比較

### 4. おわりに

調査手法の違う同一地盤の地震応答解析の結果、初期剛性の違いや深部の剛性の違いが、加速度応答や変位応答に大きく影響されることが分かった。また、標準貫入試験による解析結果は、耐震性能の照査項目により安全側にも危険側にも評価されることが分かった。なお今回の検討は、1つ箇所の地盤データを基に等価線形解析を行った結果である。今後は、地盤データや解析手法を変化させて、調査手法が耐震性能照査に与える影響について検討する予定である。

#### 参考文献

- 岡、三浦、兵動、瀬原：多成分コーン貫入試験の適用限界および試験結果の解釈（その1 土質性状タイプおよび換算  $N$  値について）、第 39 回地盤工学研究発表会、2004.
- 北条、三浦、兵動、宮坂：多成分コーン貫入試験の適用限界および試験結果の解釈（その2 サイズミックコーンおよびサスペンション法による速度検層）、第 39 回地盤工学研究発表会、2004.
- 今津、福武：砂礫材料の動的変形特性、第 21 回土質工学研究発表会、Vol.1, pp.509 ~ 512, 1989.