

運輸省港湾技術研究所 正員 土田 肇

運輸省港湾技術研究所 ○倉田栄一

運輸省港湾技術研究所 正員 井合 進

1. はじめに

構造物の耐震性の検討において、地盤中に基準となる面を設定し、これより上方の表層地盤の地震応答を考慮することが多くなりつつある。たとえば、沈埋トンネルやパイプラインなどは、地中に埋設される延長の大きい構造物であり、構造物の見掛けの単位体積重量も地盤を構成する土の単位体積重量に比し大きくはなく、その剛性も構造物周囲の地盤からの拘束に比較すれば小さいと云える。したがって、このような構造物では地震動の慣性力の影響よりも構造物の軸線に沿った地盤の相対変位の影響が大きいことが多い。沈埋トンネルやパイプラインの耐震設計では表層地盤の地震応答を考慮して地盤の相対変位を算定することになっている。ここで、地盤中に基準となる面を考えそれから上を表層地盤と称したが、ここで云う基準となる面は工学的に耐震設計における基準となる面を意味するもので、そのことを明確に認識するために、以後設計基盤面と書く。この設計基盤面が地震学の分野で云う基盤とは、必ずしも一致するものではないのが現状であろう。したがって、どのような土層を設計基盤面とするかについても更に詳しい検討が必要であろう。

さて、設計基盤面が設定されれば、それより上方の表層地盤の地震応答は種々の手法で解析される。ある一点についての表層地盤の地震応答を検討するのであれば、設計基盤面の場所ごとの地震動の相違は問題とはならない。しかし、構造物が大きな延長を有したり、平面的に大規模なものであれば、検討対象の設計基盤面も拡りを有するものとなる。現在では、沈埋トンネルなどの延長は大きいものでも約1 Kmで、地震応答解析の対象範囲も限られており、設計基盤面は全体として一様に運動しているとすることが多い。しかし、これまでの地中地震観測は個々の観測点で独立に行なわれており、設計基盤面での地震動の分布について情報を与える観測はほとんど無い。

著者は2000 m離れた2点の地中で地震動の同時観測を行なったので、両地点の地中の地震動の観測結果の比較を報告する。なお、ここに観測する報告は、地表に直線状に500 m間隔に設置した6台の地表地震計と連動する観測システムの地中の地震動に関するもので、地表の地震動の観測結果の一部は既に報告した。1)

2. 観測地点及び地震計

地震計は東京国際空港内に設置されている。図-1に同空港の平面図を示すが、図中A～Fが地表の地震計の設置地点で、地中地震計はA点の地表面下6.7.2 mおよびE点の地表面下4.9.6 mに設置されている。図-2にA点およびF点を通る直線における土質断面図を示す。同図に見られるように地中地震計は、いずれも下部東京層のN値50以上の砂層の表面付近に設置されている。この層の表面を設計基盤面と見なすことは現在の耐震設計の考え方において妥当性のある判断のひとつと云えよう。なお、図-2において両点の地中地震計を設置してある砂層が連続して描かれてはいないが、これは土質調査資料の不足から連続していることが確認されていないためこのように描いているもので、実際には連続していると思われる。

使用した地中地震計はT U S型地中地震計(可動線輪型、固有振動数5 Hz、3成分)で、観測装置全体としての動作の安定性を確保するため、インピーダンス整合のための低抗回路を介すのみで電磁オシログラフのガルバノメーターに直結してある。

3. 地震諸元

観測は1974年4月より開始され、1974年伊豆半島沖地震を含む多数の地震について記録を得ているが、ここではそのうちの主要なもので、数字化その他の整理解析の進んでいる3地震の記録について報告する。対象とした地震の諸元を表-1に示す。地震番号のTIAは観測に対する識別記号で、その後の数字記録の取得順に付した番号である。

4. 最大加速度

2地点での最大加速度を地震別成分別に比較したものを表-2に示す。A67はA点の地中地震計を、E50はE点の地中地震計を示す。最大加速度は設計基盤面でやや顕著な差のある場合が認められる。

5. 加速度波形

図-3~5に両地点での加速度波形を示す。同一地震、同一成分について波形を比較すれば、完全に一致しているとは云えない。しかし、異なった地震と比較すると、両地点の地震動が地震による相違よりは一致していることが認められる。すなわち、図-3と図-5を比較すれば、このことがうなずける。

6. 変位波形

前記のごとく、A、E両地点の加速度波形は若干の差を含むが、それぞれの加速度波形から変位波形を求めて比較すると、両地点の波形は非常に似たものであった。変位波形を図-6に示す。変位波形の計算方法については別に報告してある。¹⁾

7. スペクトル

先に示した加速度波形の比較をより詳しく行なうため、図-3~5に示した各波形をフーリエ変換し振巾スペクトルを求めた結果を図-7~9に示す。

8. 表層地盤からの反射波の影響

これまで、A、E両地点で観測された結果を直接に比較した。これは、表層地盤の地震応答解析では設計基盤面で一様な地震動を与えることが多いという実務的に取扱いを考慮したからである。しかし、重複反射理論に従えば、A、E両地点で観測された波形には表層地盤からの反射波も含んでいる。したがって、A、E両地点の表層地盤の構成が異なれば両地点で観測された波形が異なるのは当然と云える。この点について検討するために、E点の地表の加速度波形から重複反射理論により入射波を求めた。この波形をA、E両地点における入射波とし、A、E両地点の地中地震計設置地点での加速度波形を計算した。この結果をスペクトルとして示したものが図-10である。これによれば、A、E両点の表層地盤の差は顕著でないことがわかる。

9. おわりに

ここに報告した地震観測の結果は、地表における観測結果とあわせて検討し、表層地盤の地震応答解析の手法とその検証という形で報告されるべきものであろう。しかし、この種のデータがほとんどないので、観測結果をほぼそのまま報告することでも関係者の参考となる点があると考え、ここに報告した。

文献1) 土田 肇, 倉田栄一: Observation of Earthquake Response of Ground with Horizontal and Vertical Seismometer Arrays, 第4回日本地震工学シンポジウム, 1975年11月, pp.137~144。

地震番号	TIA-3	TIA-6	TIA-9
発震年月日	1974年5月9日	1974年7月8日	1974年8月4日
時刻	08:33	14:15	03:17
震源			
地点名	伊豆半島南海岸付近	茨城県沖	茨城県南西部
緯度	33.6°N	36.4°N	36.0°N
経度	138.8°E	141.2°E	139.9°E
深さ	10km	40km	50km
M ₀ -マグニチュード	6.9	6.3	5.8
震央距離	140km	161km	54km

表-1 地震諸元

地震番号		TIA-3	TIA-6	TIA-9
湖軸平行方向	A67	7.8 gal	5.1 gal	13.7 gal
	E50	13.7	7.4	31.2
湖軸直角方向	A67	5.8	4.1	11.3
	E50	7.6	6.0	18.6
上下方向	A67	3.0	2.1	6.5
	E50	7.9	4.2	11.1

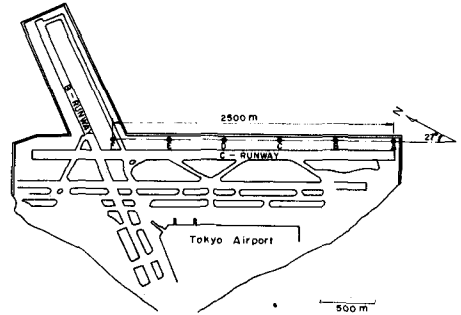


表-2 各成分の最大加速度

図-1 平面図

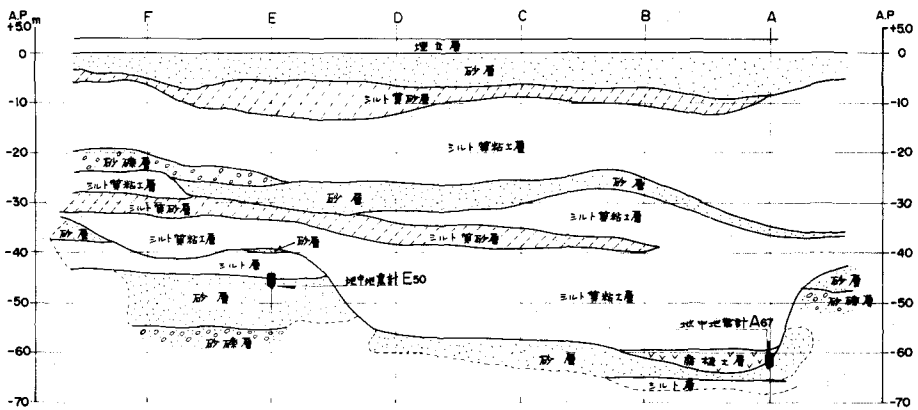


図-2 土質断面図

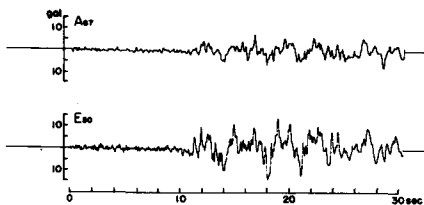


図-3 TIA-3 NS 加速度波形

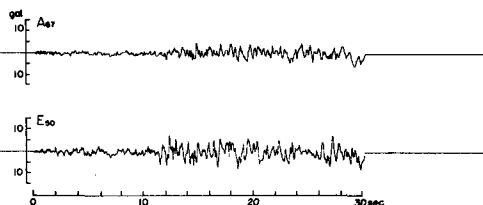


図-4 TIA-3 EW 加速度波形

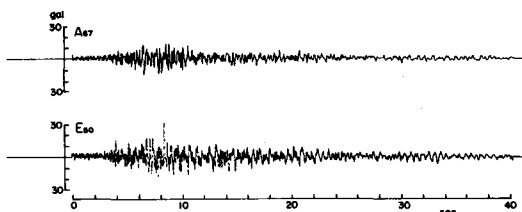


図-5 TIA-9 NS 加速度波形

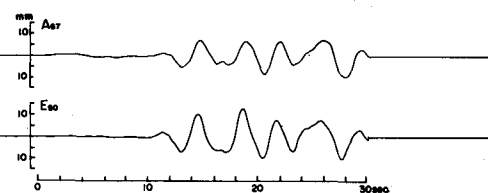


図-6 TIA-3 NS 変位波形

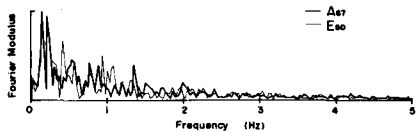


図-7 TIA-3 NS スペクトル

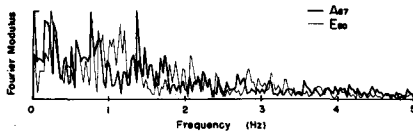


図-8 TIA-3 EW スペクトル

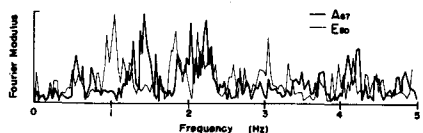


図-9 TIA-9 NS スペクトル

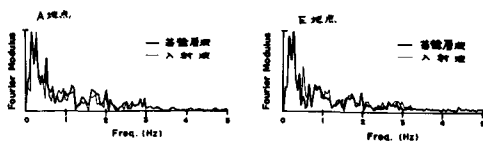


図-10 TIA-3 入射波および基盤面の
加速度波形のスペクトル