

1. はじめに 従来、地下構造物は地上構造物と比較して耐震上有利であると考えられてきた。しかし、近年の施工技術の発達に伴い、複雑な構造形式を有する地下構造物が計画・施工されつつあり、このような構造物については新規に耐震上の安全性を確認する必要がある。そこで、著者らは、3次元的な構造物として立坑とシールドトンネルの接合部に着目し、1990年から地震観測を開始し、その振動特性について検討してきた。本論文では、震央距離や震源深さの異なる地震における地盤及び構造物の振動特性を整理し、耐震設計で留意すべき事項について検討した結果を報告する。

2. 地震観測の概要 地震観測は、深さ99mまで地下連続壁工法で構築された円形断面（直径20m）の発達立坑と深さ50mの位置から南方に延びる直径4mのシールドトンネル内で行っている。また、地震計としてサーボ型速度計を用い、立坑内3カ所（深さ7m, 24m, 48m）、トンネル内3カ所（立坑から50m, 100m, 200m）及び立坑から20m離れた地盤中4カ所（深さ1m, 24m, 48m, 99m）に設置してある。（詳細は文献1）参照）

本論文では、近距離地震と遠距離地震における地盤及び構造物の振動特性の違いを検討するため、これまでに観測された地震の内、地表面での速度振幅が比較的大きな以下の地震を検討対象とした。

表ー1 検討対象地震の諸元

地震種別	観測時刻 年/月/日 時:分	地震発生地点	マグニ チュード	震央距離 (km)	震源深さ (km)	東京での 震度	最大速度 (cm/sec)
近距離地震	1992/11/19 17:48	東京湾	3.9	15	39	Ⅱ	0.74
遠距離地震	1992/01/15 20:08	釧路沖	7.8	898	107	Ⅲ	0.94

3. 地盤の振動特性 2つの地震の99mの深さに対する地表面の伝達関数を図ー1に示す。また同図には重複反射解析(SHAKE)で求めた卓越振動数を矢印で示す。近距離地震と遠距離地震及び解析値はよく一致しており、以後の検討では地盤の卓越振動数を1次;1.1Hz、2次;2.4Hz、3次;4.2Hzとして検討を行った。

4. 立坑とシールドトンネルの振動特性 近距離地震と遠距離地震での地盤と立坑及びシールドトンネルの水平面内の変位振動軌跡を図ー2、3に示す。なお、変位波形は、観測された速度波形から1次、2次、3次の振動成分を取り出し、その波形を1次、2次、3次の固有円振動数で除して求めた。

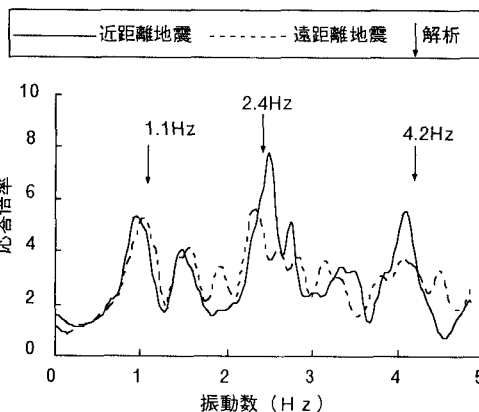
これらの図から、近距離地震と遠距離地震に共通の傾向として以下のことがいえる。

①1次振動数では、地盤と立坑は一体となって振動する。②同じ深さでは、どの振動数でも地盤、立坑及びシールドトンネルの変位振幅はほぼ等しいが、トンネルの各位置で振動方向が異なる。

また、近距離地震と遠距離地震では以下の点が異なる。

③遠距離地震では1次振動成分が卓越し、他の振動成分は無視できる程小さい。これに対し、近距離地震では2次、3次振動成分でも、トンネルでは1次の半分以上、立坑でも1次の1/2から1/4程度の値を示す。

5. 立坑に発生する地震時断面力 応答変位法を用いて地下構造物の耐震設計を行う場合、地盤の1次モードのみに着目するのが一般的である。しかし、前節の検討結果から近距離地震では2次、3次の振動成分も比較的大きな値を示すことが分かった。そこで、周辺地盤を含めた構造物の3次元的なモデル化が比較的容易な立坑について、2次、3次振動成分が地震時断面力に及ぼす影響の度合いを検討した。



図ー1 深さ99mに対する地表面の伝達関数

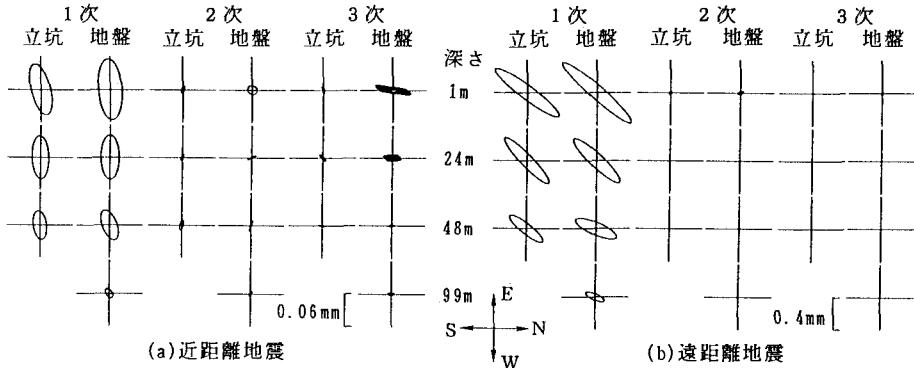


図-2 地盤と立坑の変位振動軌跡

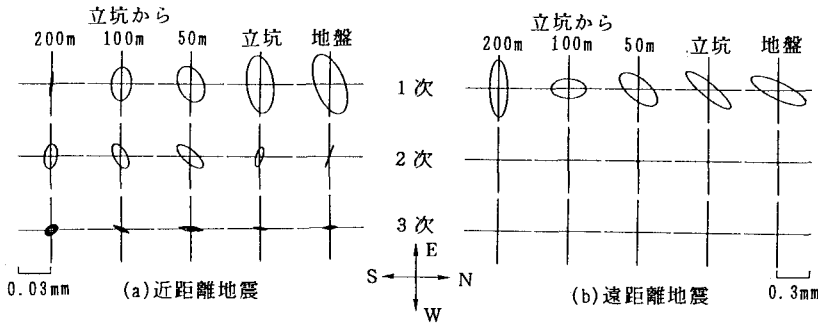


図-3 シールドトンネルの変位振動軌跡

解析は、軸対称有限要素で立坑と周辺地盤をモデル化し、深さ99mの地盤中で観測した地震波を入力として動的解析を行い、立坑に発生する地震時断面力を算定した。立坑壁面の一要素に発生する鉛直方向軸力の最大値の深さ方向分布を図-4に示す。この図には、観測した波形の全振動成分と1次、2次及び3次振動成分のみ入力した場合の4通りを示す。遠距離地震では全振動成分と1次振動成分での断面力はほぼ等しく、2次、3次と高次になるに従って断面力が小さくなっている。ところが、近距離地震では1次、2次、3次振動成分での断面力はほぼ等しく、全振動成分での断面力の1/4程度の値となっており、1次以外の高次振動成分の影響が大きいことが分かる。

6. まとめ 近距離地震と遠距離地震で地盤、立坑及びシールドトンネルの振動特性の違いを検討した結果、遠距離地震では1次振動成分が卓越し、地盤と立坑は一体となって振動するが、近距離地震では2次、3次振動成分で地盤と立坑は異なった挙動を示すことが分かった。さらに、立坑に発生する地震時断面力は、遠距離地震では1次振動成分が支配的だが、近距離地震では1次以外の高次振動成分の影響が大きいことが分かった。また、シールドトンネルは、どちらの地震でも同じ深さの地盤及び立坑と変位振幅はほぼ等しいが、振動方向が異なっており、立坑との接合部で相対変位が大きくなっている可能性があり、耐震設計を行う上で留意する必要があると考えられる。

参考文献 1)大保、上野、鄭、金子：大深度立坑とシールドトンネルの地震応答特性、土質工学会都市地下空間利用における大深度地盤に関するシンポジウム、pp.247～252、1993.11

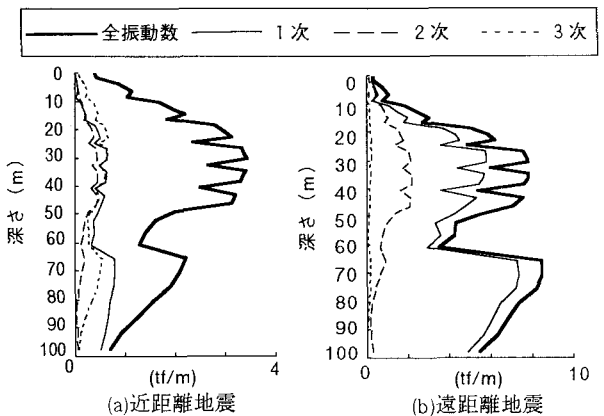


図-4 立坑壁面の鉛直方向軸力