

神戸大学観測点における 表層地盤の影響に関する検討

末富岩雄¹・土岐憲三²

¹正会員 工修 佐藤工業株式会社 (〒103 東京都中央区日本橋本町 4-12-20) ,
京都大学大学院工学研究科博士後期課程

²フェロー 工博 京都大学教授 大学院工学研究科 (〒606-01 京都市左京区吉田本町)

1995 年兵庫県南部地震の際、関西地震観測研究協議会により神戸大学で震源近傍の岩盤上での強震記録が観測された。地震記録の特性は岩盤としての特性を有しているものの、トンネル内の観測点であり、地盤調査によりトンネルの下に薄いながらも堆積層が存在していることが明らかになっている。本研究では、トンネル周辺地盤の非線形化の影響が見られること、余震記録においてもトンネル軸方向成分が卓越していることを明らかにし、2次元 FEM による解析を行って、神戸大学観測点では深層地盤構造の影響により南北成分が卓越することを示した。

Key Words : non-linear behavior, particle orbit, 2D-FEM, Kobe Univ.

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震の際、関西地震観測研究協議会により神戸大学で観測された記録は、震源近傍の岩盤相当の貴重な記録である。基本的特性としては岩盤記録の特性を有しているものの¹⁾、いくつか明らかにすべき点もある。上下動成分の記録が飽和している問題については、Kagawa et al.²⁾により復元が行われている。岩崎ら³⁾は、神戸大学地震観測点で地盤調査を行い、トンネル直下に N=10 程度のシルト質砂が約 1.3m 堆積していることなどを指摘している。観測点がトンネル内であり、そのトンネルが堆積層内にあることの影響を把握しておくことは重要である。本研究では、余震記録と本震記録を比較することによりその影響を把握し、2次元 FEM 解析により検討を行った。

2. 伝達関数の卓越周波数に関する検討

図-1 に示す 8 つの余震記録と本震における周波数特性を比較するために、水平 (H; 2次元) と鉛直 (V) のスペクトル比を求めた (図-2)。H/V での評価ではあるが、浅層地盤の非線形化により卓越周期が低振動数側へ移っていること、高振動数側で増幅倍率が小さくなっていることが、明瞭に現れている。

岩崎ら³⁾による調査結果に基づき、表-1 のように地盤をモデル化した。1) 一次元等価線形解析、2) トンネル構造物を考慮した二次元等価線形解析 (モデル 1)、3) 浅層地盤の谷構造を考慮した二次元等価線形解析 (モデル 2)、の 3 通りの解析を行い、観測

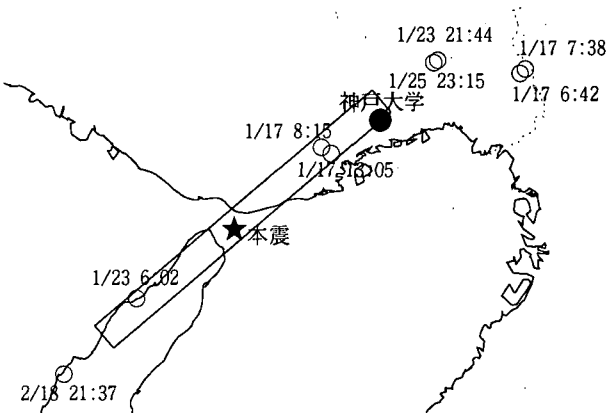


図-1 観測点と解析に用いた余震の震央の位置

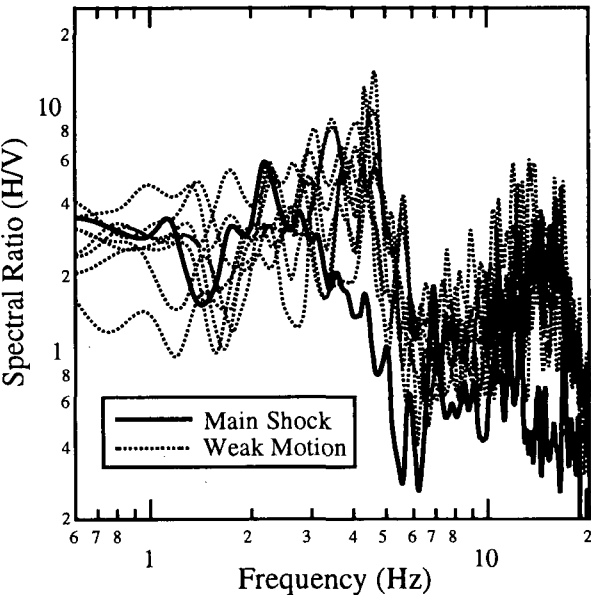
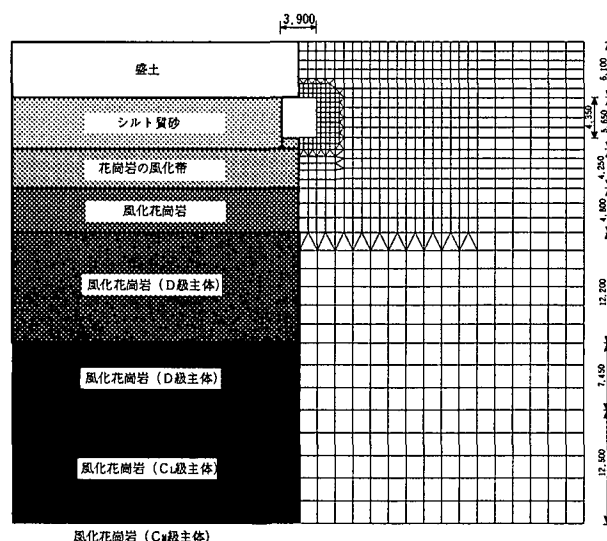


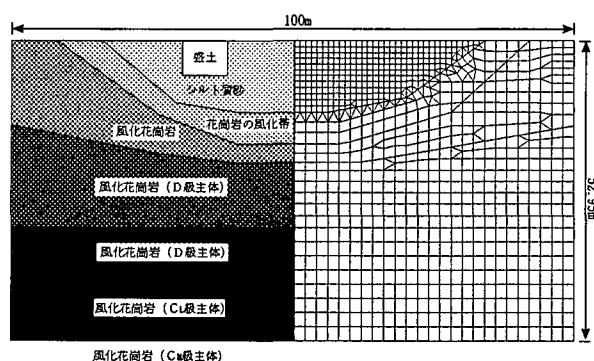
図-2 本震と弱震の水平/鉛直スペクトル比の比較

表-1 地盤構造モデル

No.	土質	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	V _S (m/s)	V _P (m/s)
1	盛土 (玉石混じり砂礫)	6.10	1.90	319	638
2	シルト質砂, N=8	5.65	1.80	240	490
3	花崗岩の風化帯 (マサ土状)	4.25	1.97	340	700
4	風化花崗岩	4.80	2.27	590	1,700
5	風化花崗岩 (D級主体)	12.20	2.08	850	2,050
6	風化花崗岩 (D級主体)	7.45	2.06	960	2,250
7	風化花崗岩 (C _L 級主体)	12.50	2.18	1,120	2,850
8	風化花崗岩 (C _M 級主体)	—	2.2	1,350	3,100



(a)モデル1 (トンネル)

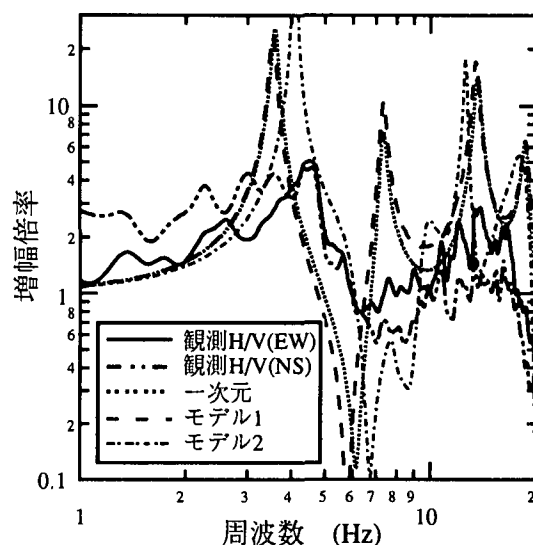


(b)モデル2 (浅層地盤の不整形構造)

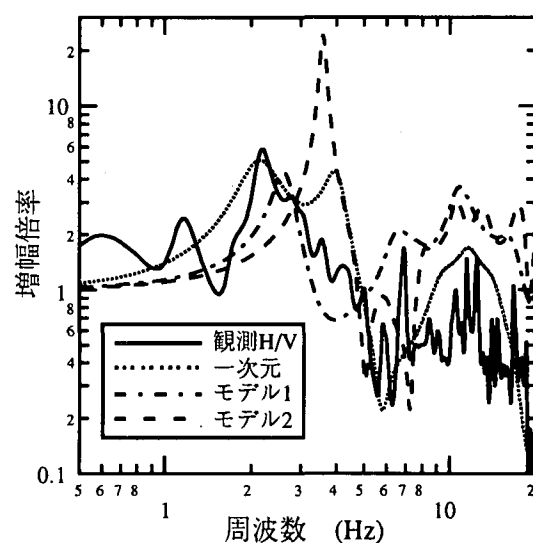
図-3 二次元 FEM モデル図

値と比較する。2), 3)の FEM モデルを図-3 に示す。モデル1でのコンクリートの密度は 2.4t/m^3 とし、せん断剛性は直接波法で得られた S 波速度 $1,830\text{m/s}$ から評価した。一次元解析, モデル2 ではトンネルを無視し, シルト質砂で置き換えた。モデル2 ではトンネル上にもみ盛土を考えており, 観測点はその下に設定している。

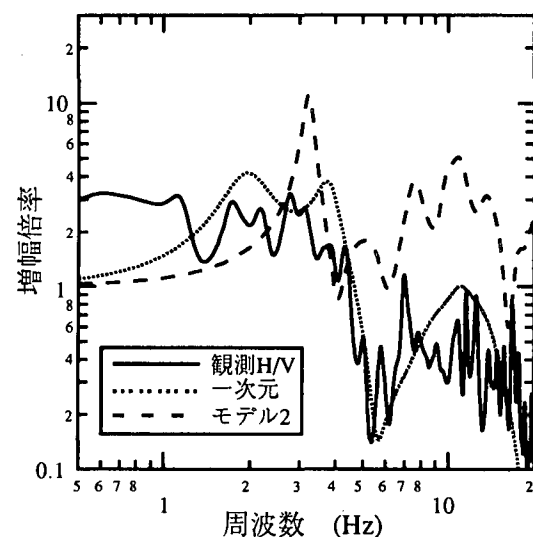
解析により得られた伝達関数の比較を図-4 に示す。



(a)弱震時



(b)本震 EW 成分



(c)本震 NS 成分

図-4 伝達関数の比較

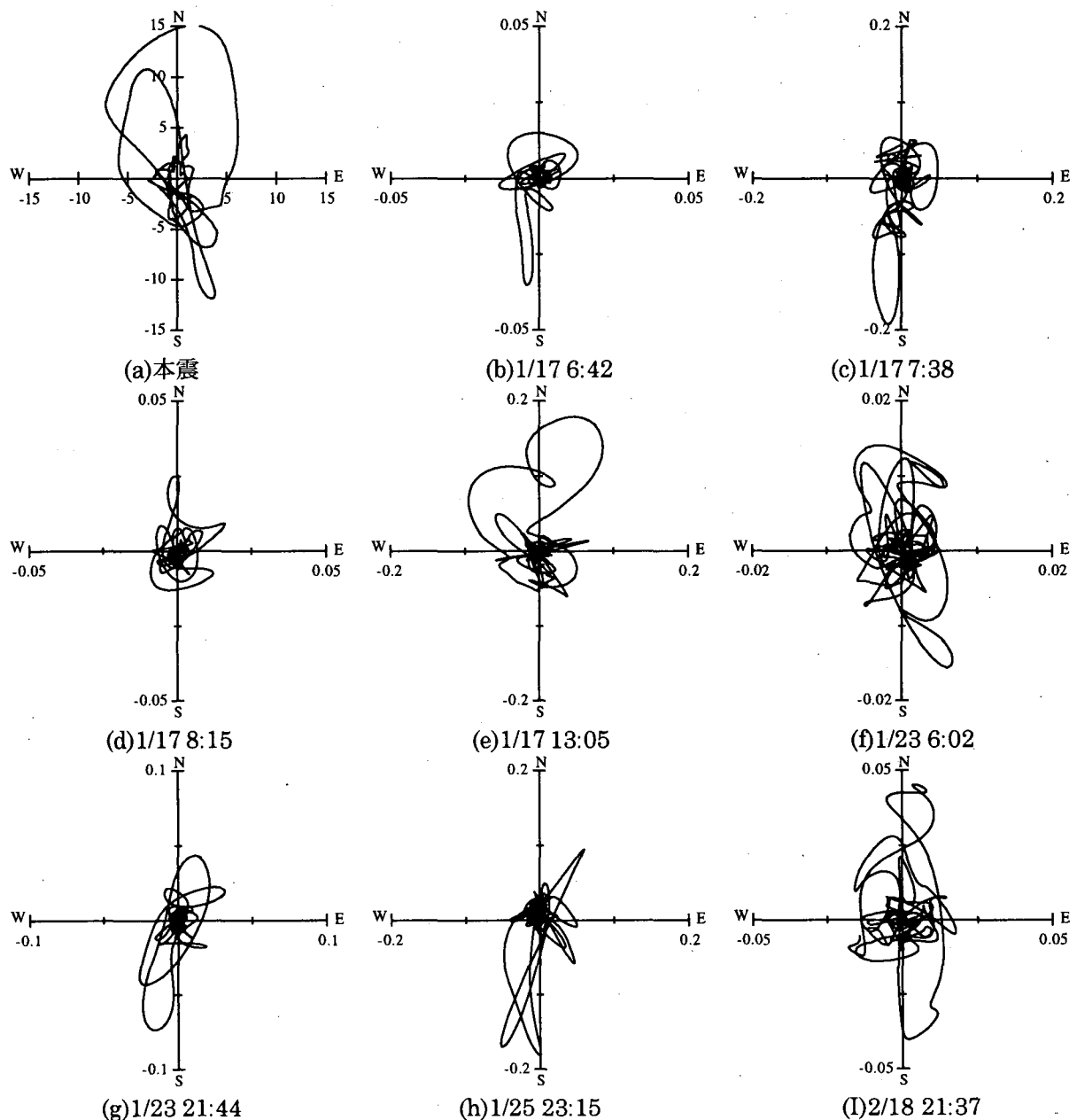


図-5 観測記録の水平面内変位軌跡

弱震時に関しては、浅層の不整形構造を考慮したケースが最も良く観測記録と対応しているが、強震時には一次元解析が最も良く観測記録と対応している。トンネルの影響に関しては弱震時の結果ではほぼ一次元解析と一致しており、無視できるものと考えられる。以上より、本震におけるH/Vの卓越周波数の低下は、トンネル周辺地盤の非線形挙動によるものと考えられる。

3. 変位軌跡に関する検討

若松⁴⁾は震源域における本震記録の水平面内粒子軌跡を示している。神戸大学の変位軌跡を他の観測地点のそれと比較すると、他の地点では真北から40°程度西へ傾いているのに対し、神戸大学では真北に近い方向を差している。図-1に示した9個の地

震の水平面内変位軌跡を図-5に示す。余震の震央位置に関わらず、いずれの地震においてもNS成分がEW成分に比べ卓越している。図-4に示した観測記録のH/Vにおいて、NS成分の方がEW成分よりも低振動数側で大きいことも、NS方向に揺れやすいことを示していると考えられる。したがって、南北方向に走るトンネルの拘束または谷地形である基盤構造による拘束によりEW方向には揺れにくいのではないかと考えられる。

変位軌跡において常に南北成分が卓越する理由として、1)南北に走るトンネル内に設置されていることの影響、2)浅層地盤の不整形構造の影響、3)深層地盤の不整形構造の影響、の3項目を考え、それぞれを考慮した二次元FEMモデルを作成し、面内解析(SuperFLUSH)と面外解析(SuperFLUSH/SH)を

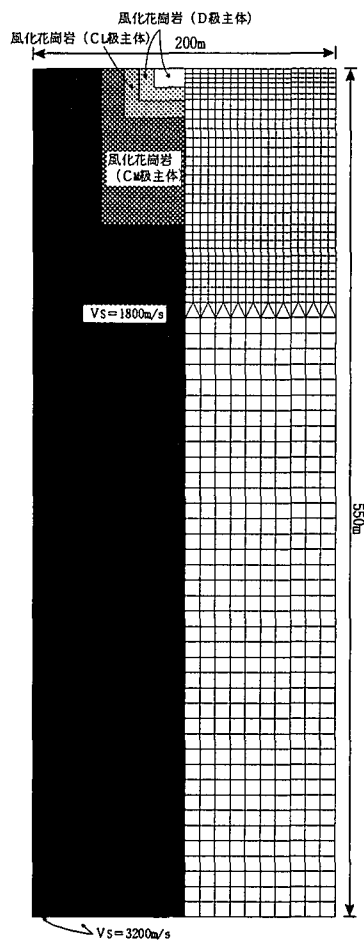


図-6 モデル3 (深層地盤の不整形構造)

行うことにより基盤地震動を評価し、基盤面における変位軌跡を求める。

1), 2)に関しては図-3と同じモデル1,2を用い, 3)については浅層地盤を無視して, 源栄ら⁵⁾によるモデル化を参考にして層構成を仮定し, さらに谷構造を仮定し, 図-6のようにモデル化した(モデル3)。1)の場合, 面外解析を行えないため, NS成分に関しては一次元解析の結果を用いた。

得られた変位軌跡を図-7に示す。モデル1,2の場合, 観測記録と卓越方向が一致しており, トンネルや浅層地盤構造の影響は無視できると考えられる。モデル3の場合には卓越方向が観測記録よりも西側へ傾いており, 他の観測地点での卓越方向に近づく。したがって, 深層基盤が谷構造となっていることにより, 南北方向に揺れやすくなっているものと考えられる。EW方向の地盤構造の変化に関する情報がないので, 本研究では単純なモデルを仮定したが, 今後神戸大学周辺の3次元地盤構造に関する情報が得られれば, 伝達関数, 変位軌跡とも定量的評価が可能になると考えられる。

4. まとめ

1995年兵庫県南部地震の際に神戸大学で観測さ

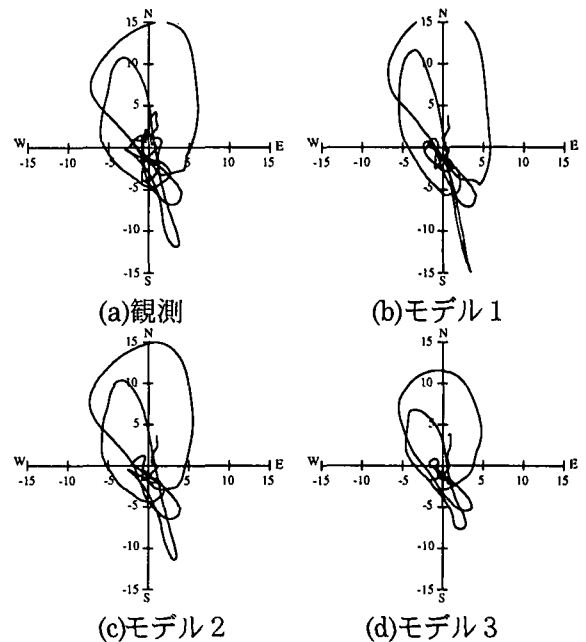


図-7 解析により得られた変位軌跡

れた記録について検討を行った結果, 以下のことが明らかになった。

- 1)本震記録はトンネル周辺地盤の非線形化の影響を受けている。
- 2)深層地盤の谷構造の影響により, 変位軌跡は地震規模, 震央位置に関わらず南北方向が卓越する傾向にある。

謝辞: 本報告では, 関西地震観測研究協議会による観測記録を使用させていただきました。記して関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1)末富岩雄・吉田望:兵庫県南部地震における地盤の非線形挙動(その2), 第2回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, pp.65~72, 1997年1月
- 2)Kagawa, T., K. Irikura and I. Yokoi: Restoring clipped records of near-field strong ground motion during the 1995 Hyogo-ken Nanbu (Kobe), Japan earthquake, Journal of Natural Disaster Science, Vol.18, No.1, pp.43-57, 1996.
- 3)岩崎好規・本郷隆夫・横田裕・伊藤信一:関西地震観測研究協議会六甲台(神戸大学)観測点の地盤特性, 1995年度日本地震学会秋期大会講演予稿集, P77, 1995年9月
- 4)若松邦夫:震源域での強震動, 第23回地盤震動シンポジウム, pp.11~20, 1995年10月
- 5)源栄正人・永野正行:深部不整形地下構造を考慮した神戸市の地震動の増幅特性解析ー兵庫県南部地震における「震災の帯」の解釈ー, 日本建築学会構造系論文集, 第488号, pp.39~48, 1996年10月