

3. 5 地震応答解析に基づく河川堤防の安定性の検討

－物部川流域堤防を例として－

3. 5. 1 まえがき

兵庫県南部地震により、耐震設計基準に大幅な手直しが行われ、補強工事も着々と進められている。一方、それらの動きに全く取り残されて、初めから耐震設計されていない土木構造物も少なくない。土ダムを除いて河川堤防、道路盛土を始めとする盛土類、斜面、擁壁などの土構造である。したがって、小さな地震では崖崩れや盛土の破壊のみで終わってしまう。これらが地震に最も弱い土木構造物であり、もともと耐震基準などないのだから、基準の見直しもなく取り残されている。今回の地震でも震害地から少し東に離れた淀川の河川堤防が破壊し、3m沈下した。周辺では建築物も土木構造物も殆ど壊れていない。ただ、この被害が他に影響を及ぼしたかとなるとそうではないと考えられる。これら土構造物がなぜ耐震設計されないかは、河川堤防がたとえ3m沈下しても、洪水時でもなければ他に被害を及ぼすことはない。洪水と地震が同時に起こる確率も非常に低いからである。土構造物の被害の復旧はコンクリート構造物に比べて、経費も安く、期間も短いと都合なのである。

以上のように既存堤防の延長が膨大であることから重要度と危険度を踏まえた対応が必要であるが、自立式特殊堤と高規格堤防がレベル1に対する耐震設計が行われているのに対し、堤防などの土構造物は耐震設計が行われていない。高知の南海地震を対象とした場合、地震で堤防が壊れた後、津波による波高の高い波が川を遡上して周辺民家が水没することも考えられる。第一段階として代表的な堤防を地震応答解析するために質点モデルに置換してどの程度の応答加速度が生じるかなどについて求め、耐震設計指針の資料に供する。

3. 5. 2 対象堤防の概要と解析方法

対象地盤は、**図-1**に示すように四国でも有数の急流河川である物部川の河口部である。**図-2(1), (2), (3)**に示す土質柱状図からわかるように、この付近は層厚約20mの砂礫からできており、東京や大阪などの沖積平野（三角州）に比べて非常に支持能力の高い地盤による扇状地である。既存の3～4階建てのRC構造物は十分地盤が良いため表土を取り去り直接基礎が採用されている。

水衝部横断図の代表例を**図-3**に示す。基礎地盤部は良好な玉石部と考え、下端固定の4質点せん断梁にモデル化し、**図-4**に示す。非線形復元力特性の骨格曲線は地盤が変形するとすぐにひび割れが入り、次いで降伏するトリリニアモデルとし、**図-5**に示す。

用いた入力地震波は、兵庫県南部地震（第2種地盤）で観測されたJR西日本の鷹取地震波時刻歴波形（10秒間）を基準化して入力した。鷹取NSの観測された時刻歴波形とスペクトル曲線を**図-6, 7**に示す。なお、同図に比較のため、短周期成分が卓越するタフト地震について併記する。

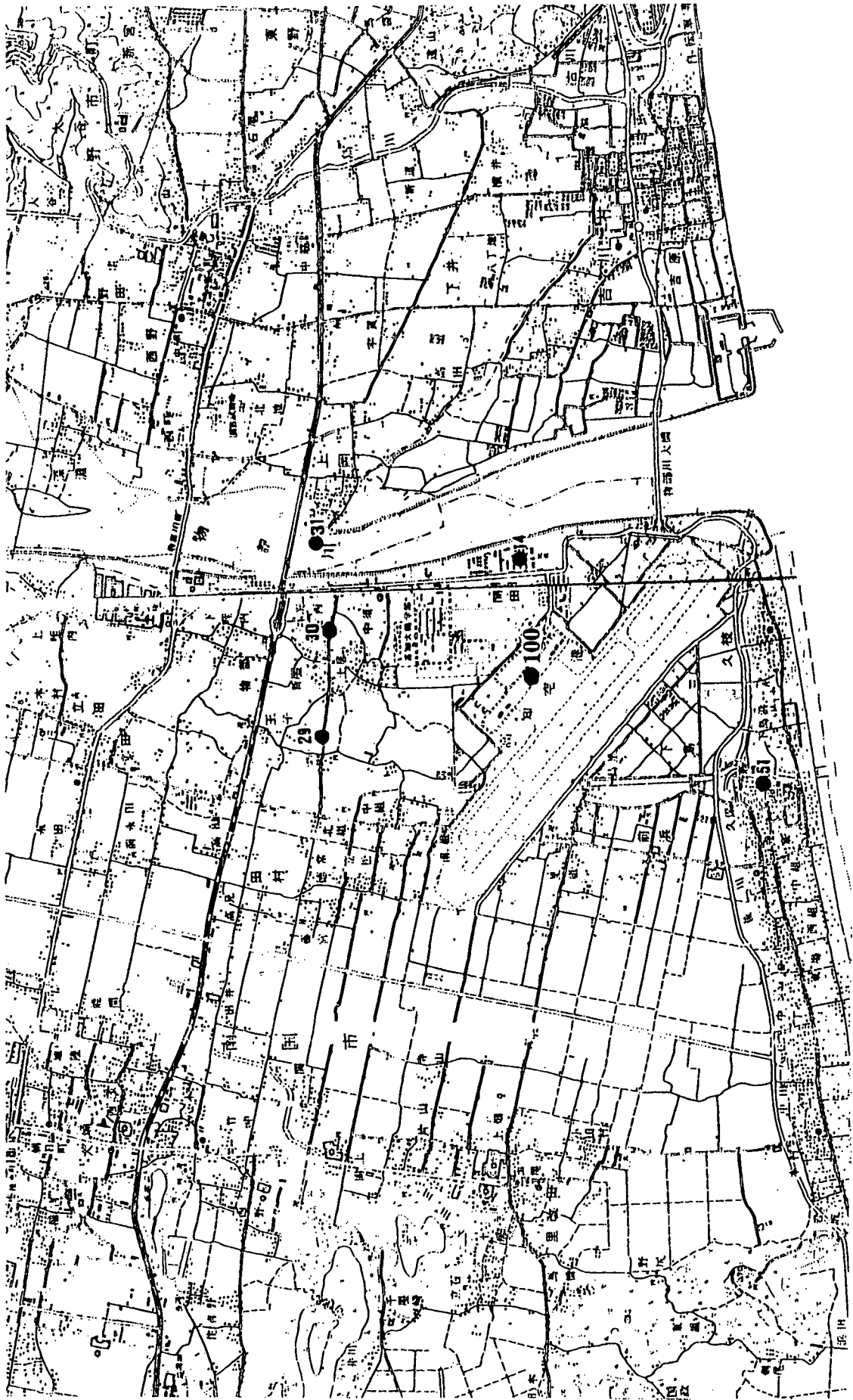
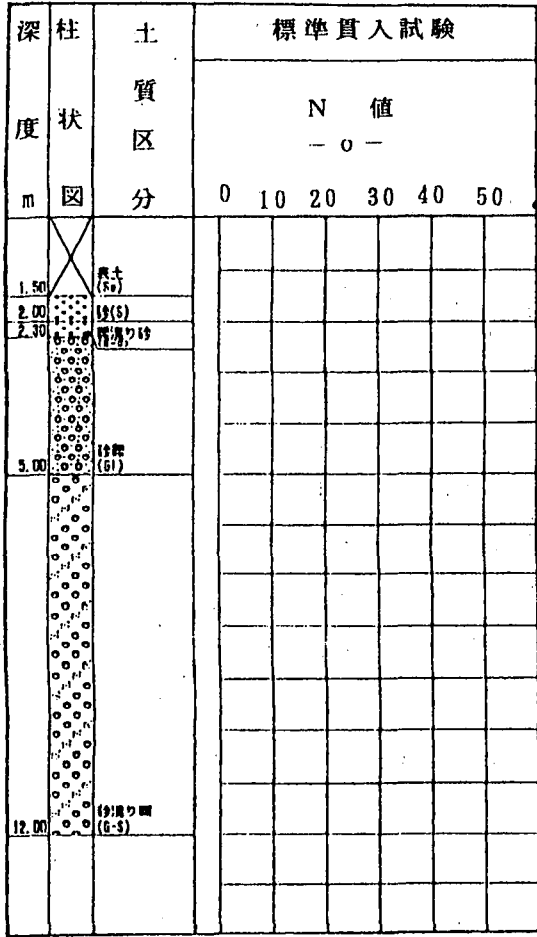


図-1 対象地盤

ボーリング名 南国-14



ボーリング名 南国-29

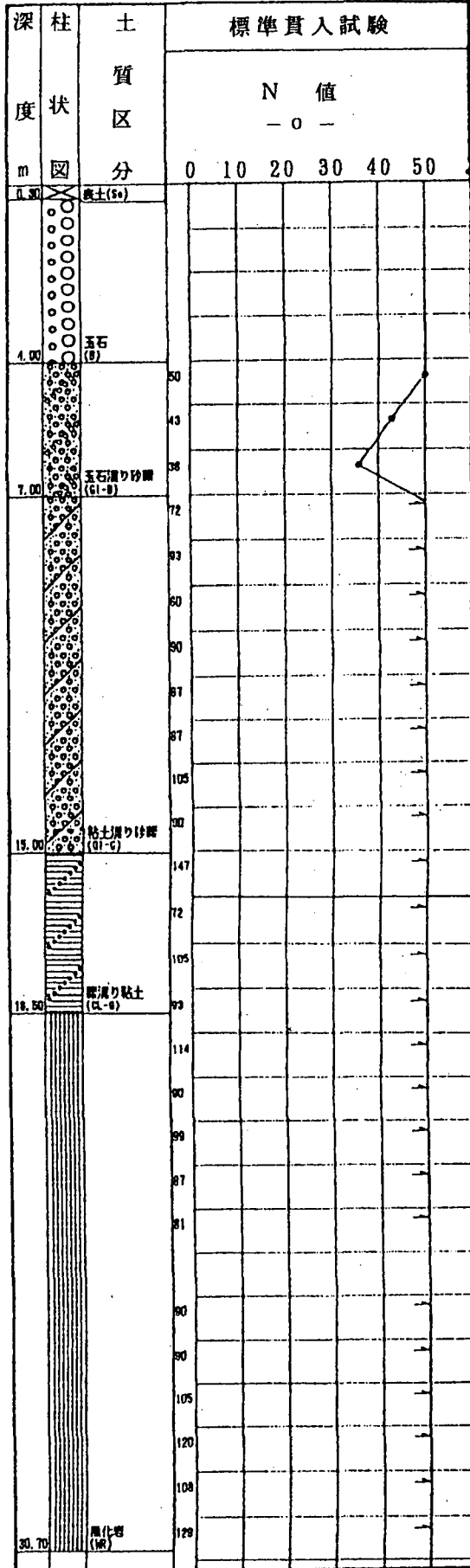
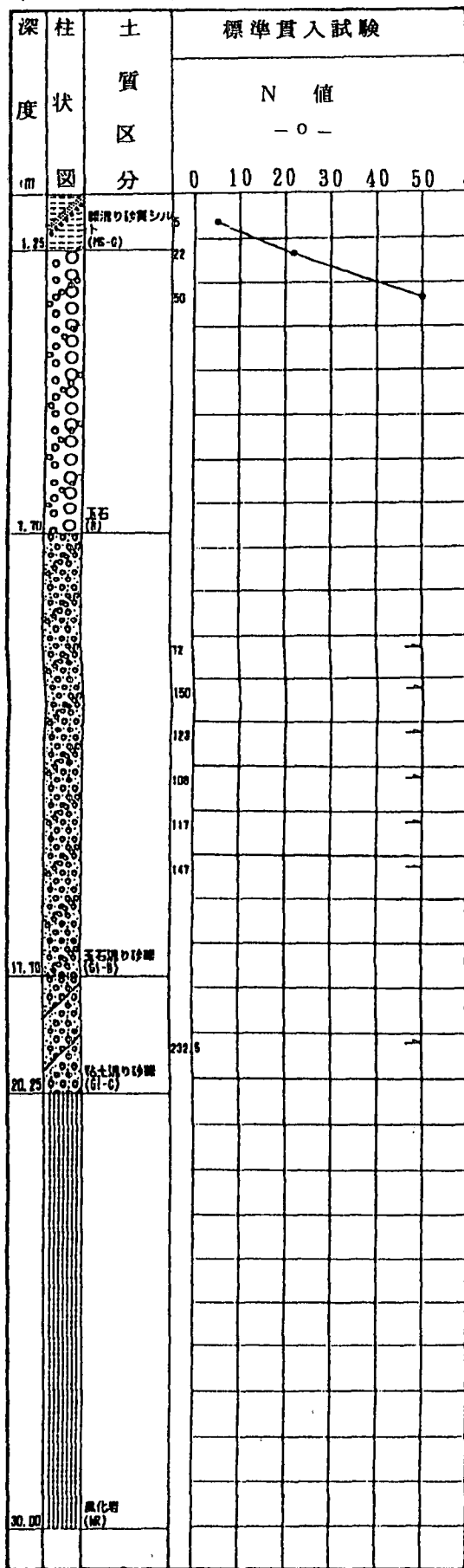


図-2(1) 対象地盤のボーリング柱状図

ボーリング名 南国-30



ボーリング名 南国-31

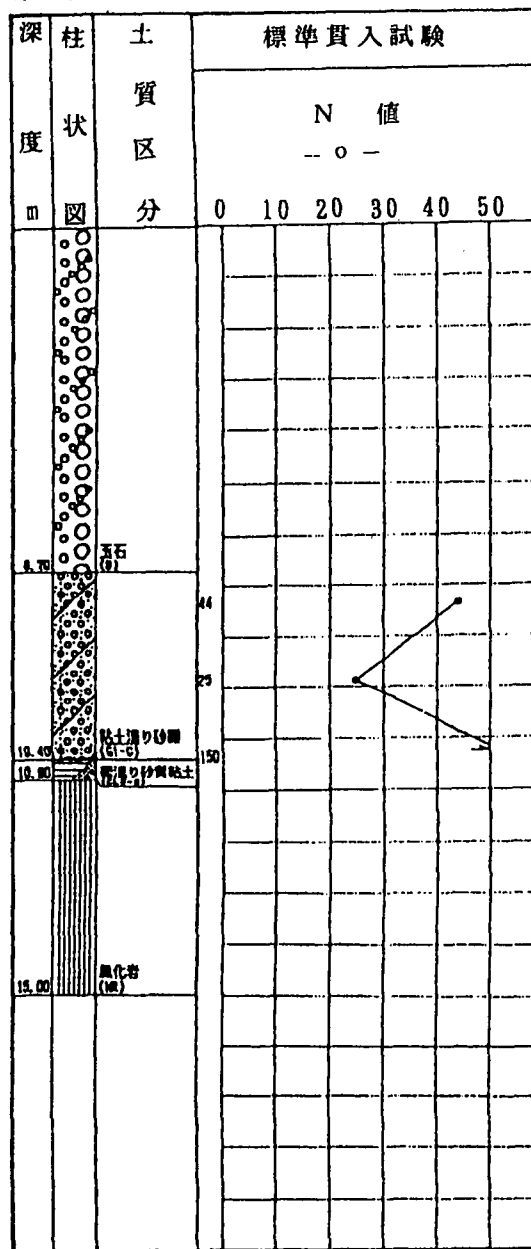
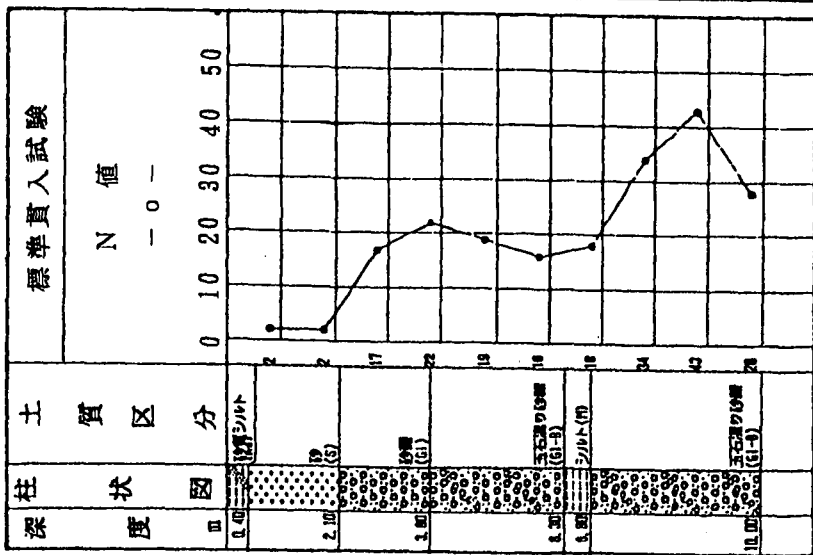


図-2(2) 周辺地盤のボーリング柱状図

ボーリング名 南国-51



ボーリング名 南国-100

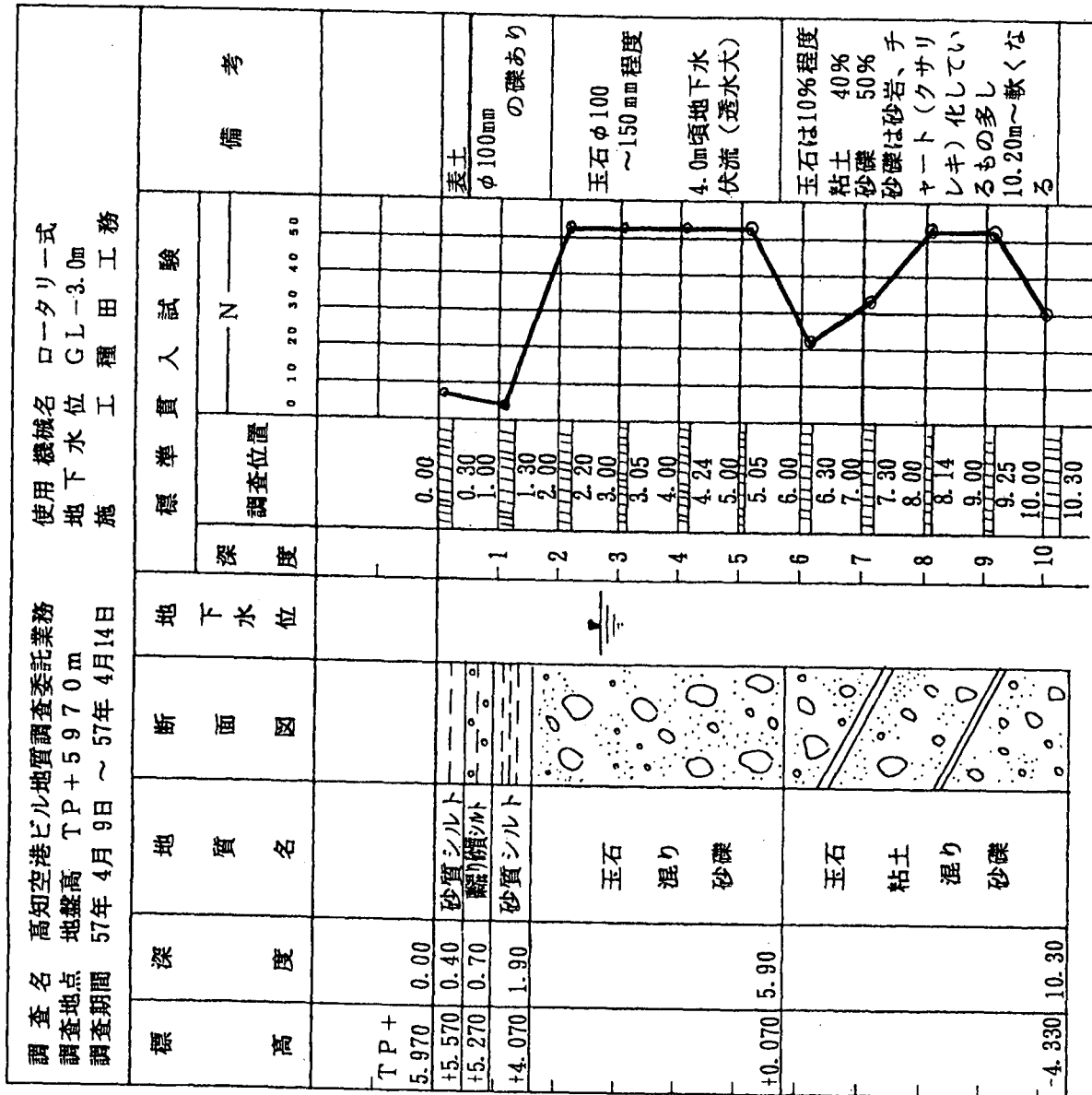
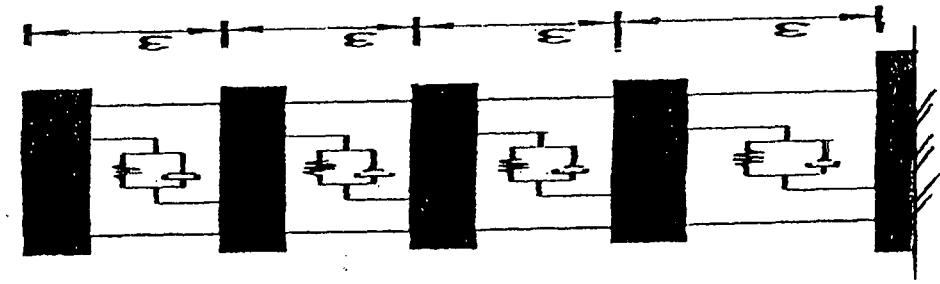


図-2(3) 周辺地盤のボーリング柱状図



4 質点モデル

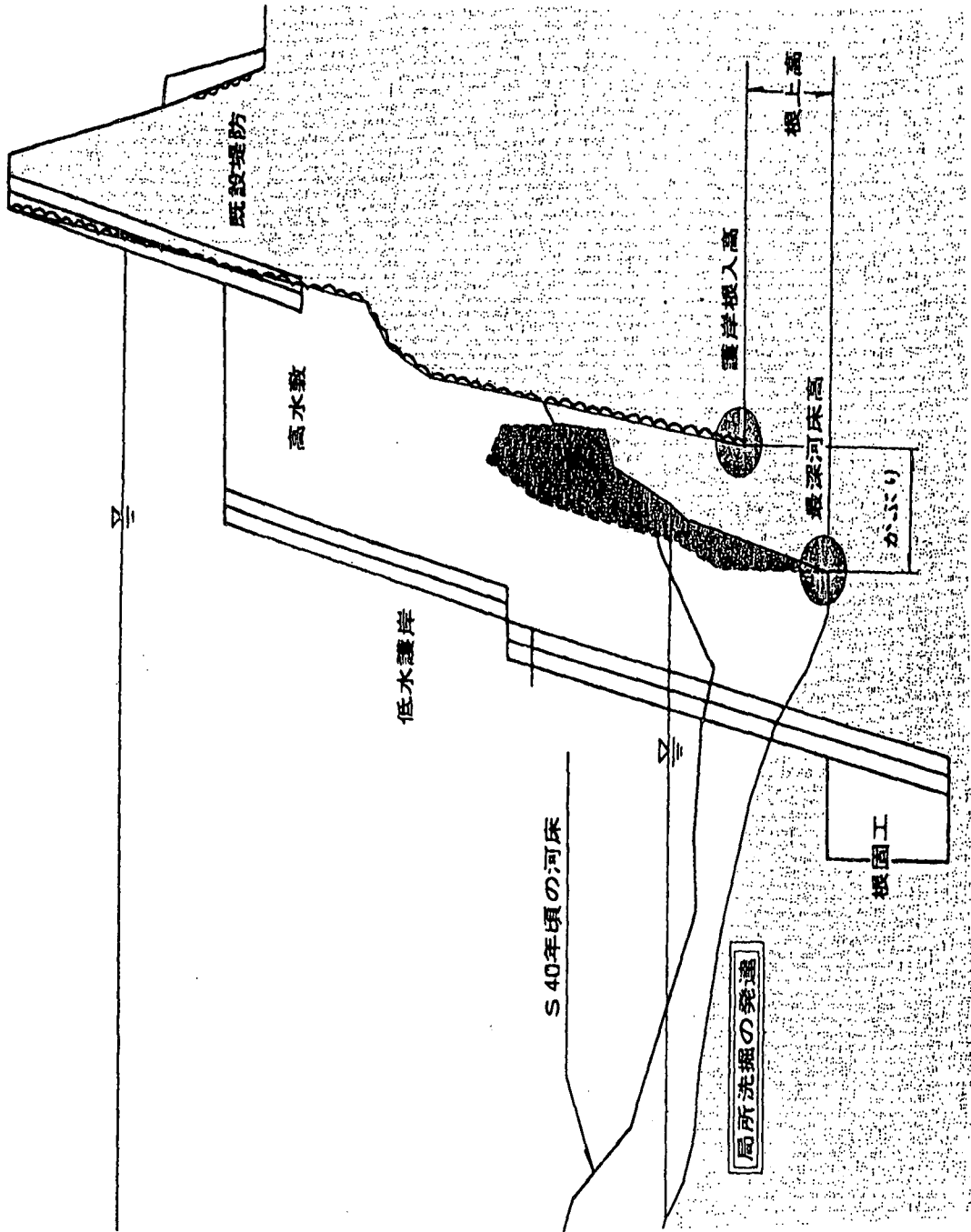


図-3 物部川水衡部横断面図

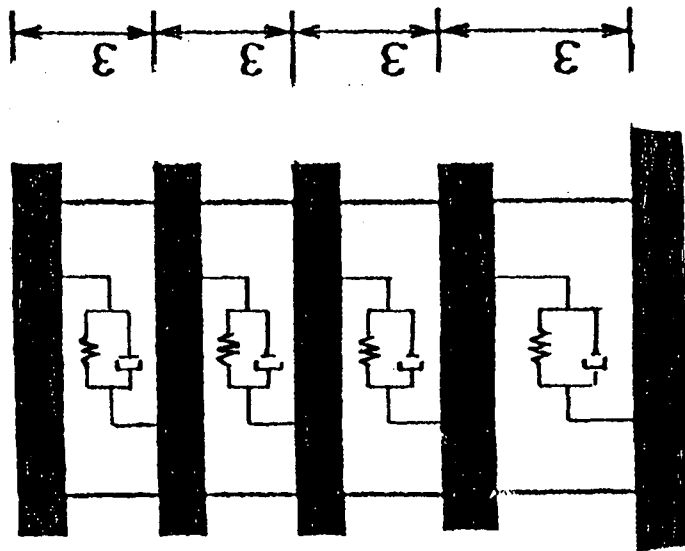


図-4 4質点モデル

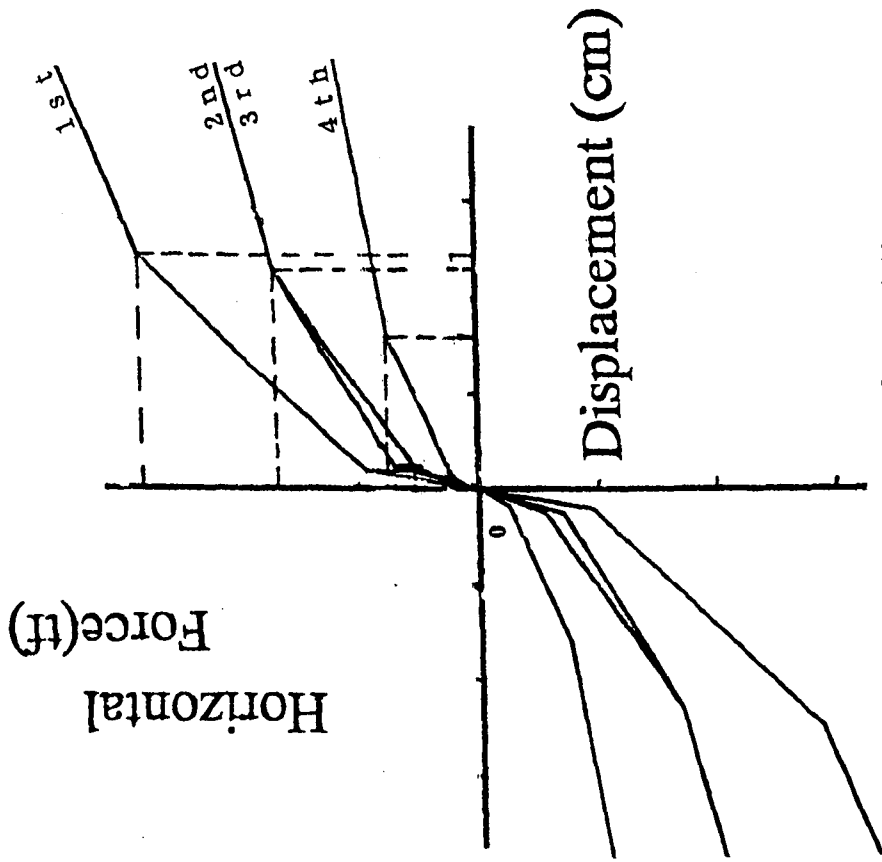


図-5 トリリニアモデル (非線形復元力特性)

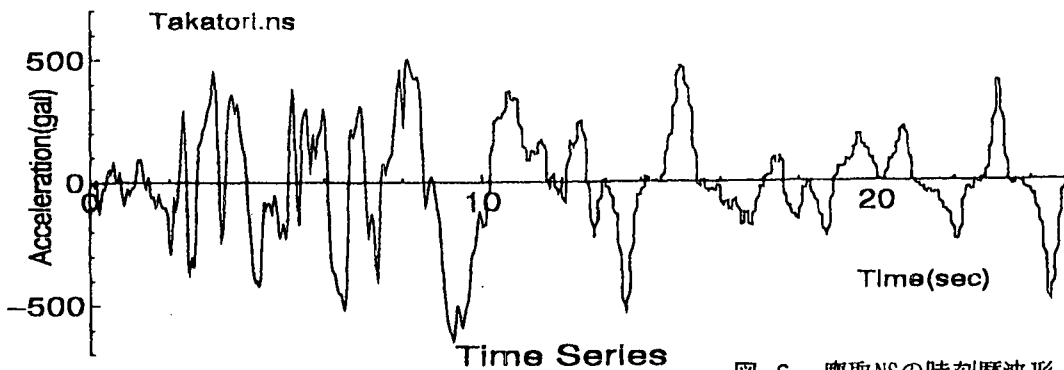


図-6 鷹取NSの時刻歴波形

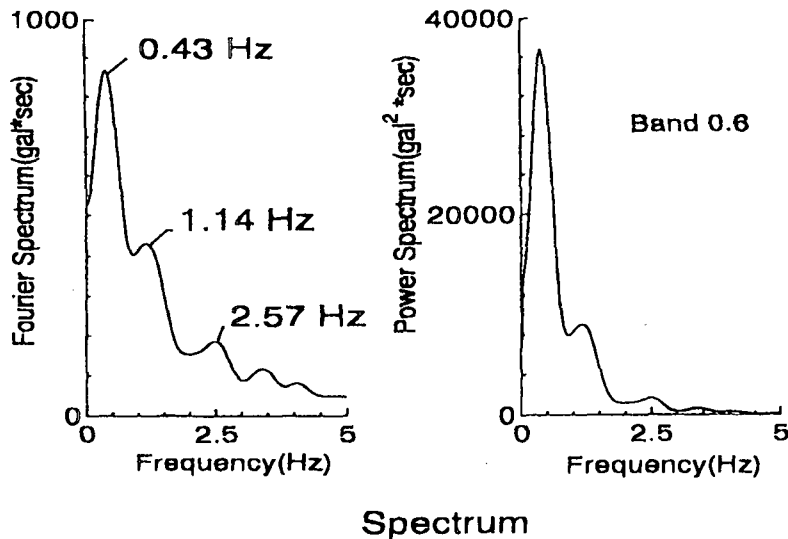
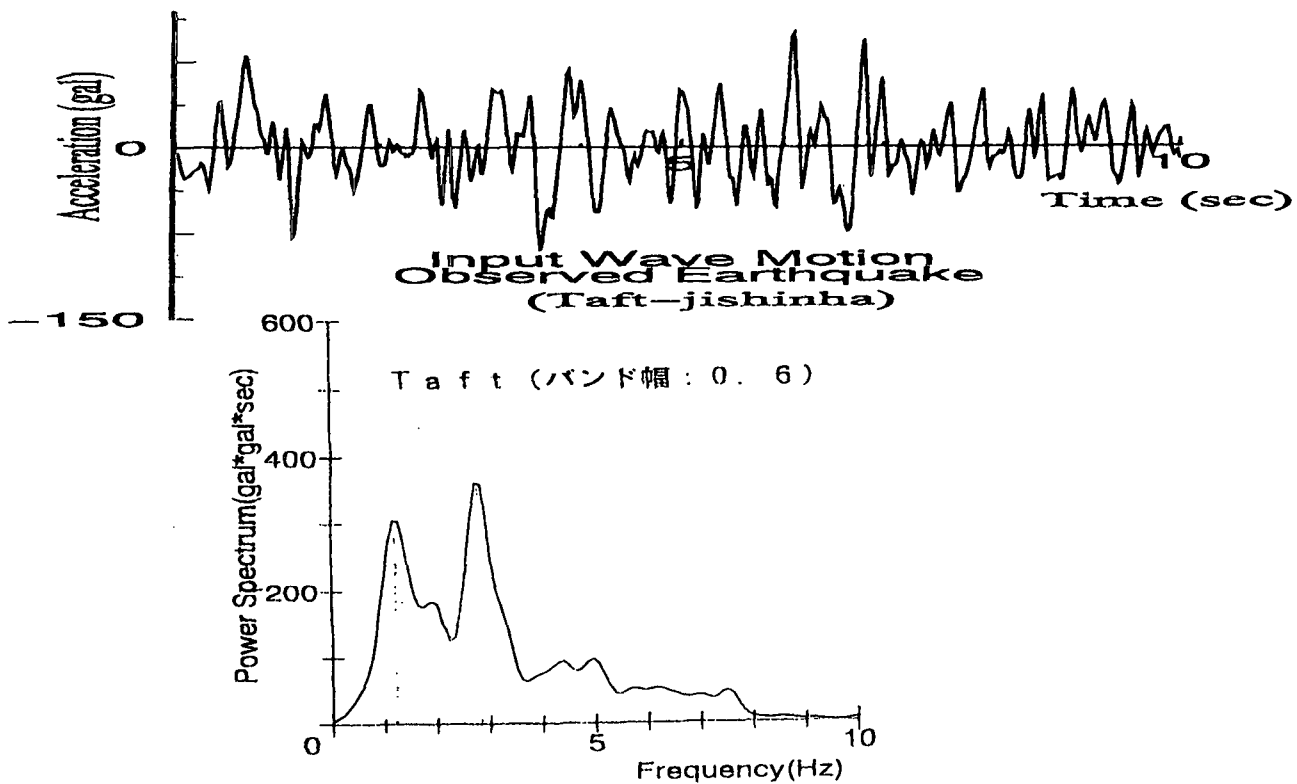


図-7 鷹取NSのスペクトル



タフト

3. 5. 3 解析結果と考察

固有解析による固有モードを図-8に示す。1次、2次、3次モードは2.2Hz、5.5Hz、8.3Hzである。入力波のスペクトル曲線から1次、2次、3次モードはそれぞれ約0.4Hz、1.1Hz、2.6Hzであり線形解析において、入力波の2.5Hz近傍が線形モデルの1次に関係する程度であるが、非線形モデルになると固有周期が低下するため、入力波の1次の卓越振動数が大きく影響することがわかる。鷹取NS100gal（10秒間）入力時に応答最大値包絡線分布を線形構造とトリリニア構造の場合について図-9に示す。同図は線形モデルを直線で非線形モデルを点線で示している。応答加速度の最大値は線形モデルでは上部に行くほど大きくなり、非線形モデルは小さくなる。変わりに応答変位の最大値は線形モデルでは小さくなり、非線形モデルは大きくなることわかる。参考のため、タフト地震波を100galに基準化して求めた応答最大値包絡線分布を同図に併記した。卓越振動数は1次、2次、3次でそれぞれ1.2Hz、2.0Hz、2.8Hzである。鷹取NSと同様の傾向がわかる。

時刻歴波形と入力加速度振幅100gal時の線形と非線形モデルについて各部の応答加速度と応答変位の時刻歴波形を図-10(1)に示し、同図(2)に200gal時を示す。同図(3)に100gal時の最頂部の線形と非線形の時の応答加速度波形とパワースペクトルを示す。これらの時刻歴波形から、地盤材料の非線形性を考慮した厳密な解析を用いると、応答加速度が線形に比べて低減され、応答変位が大きくなることわかる。

3. 5. 4 あとがき

地盤の非線形復元力特性が明確にわかればどの程度の地震で壊れるかが推定できるがこのデータが手元にない。そこで図-5に示したようなせん断力-変位曲線を仮定して一次元の応答解析を非線形モデルで試み、線形モデルと比較した。しかしながら、この一次元のモデル化では沈下は扱えず、今後の課題として二次元解析を行い、変形がいくらぐらいまで許容されるかを求めることが必要である。

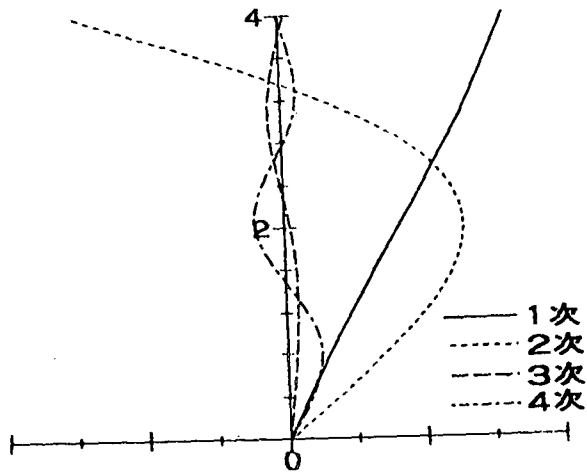


図-8 固有モード

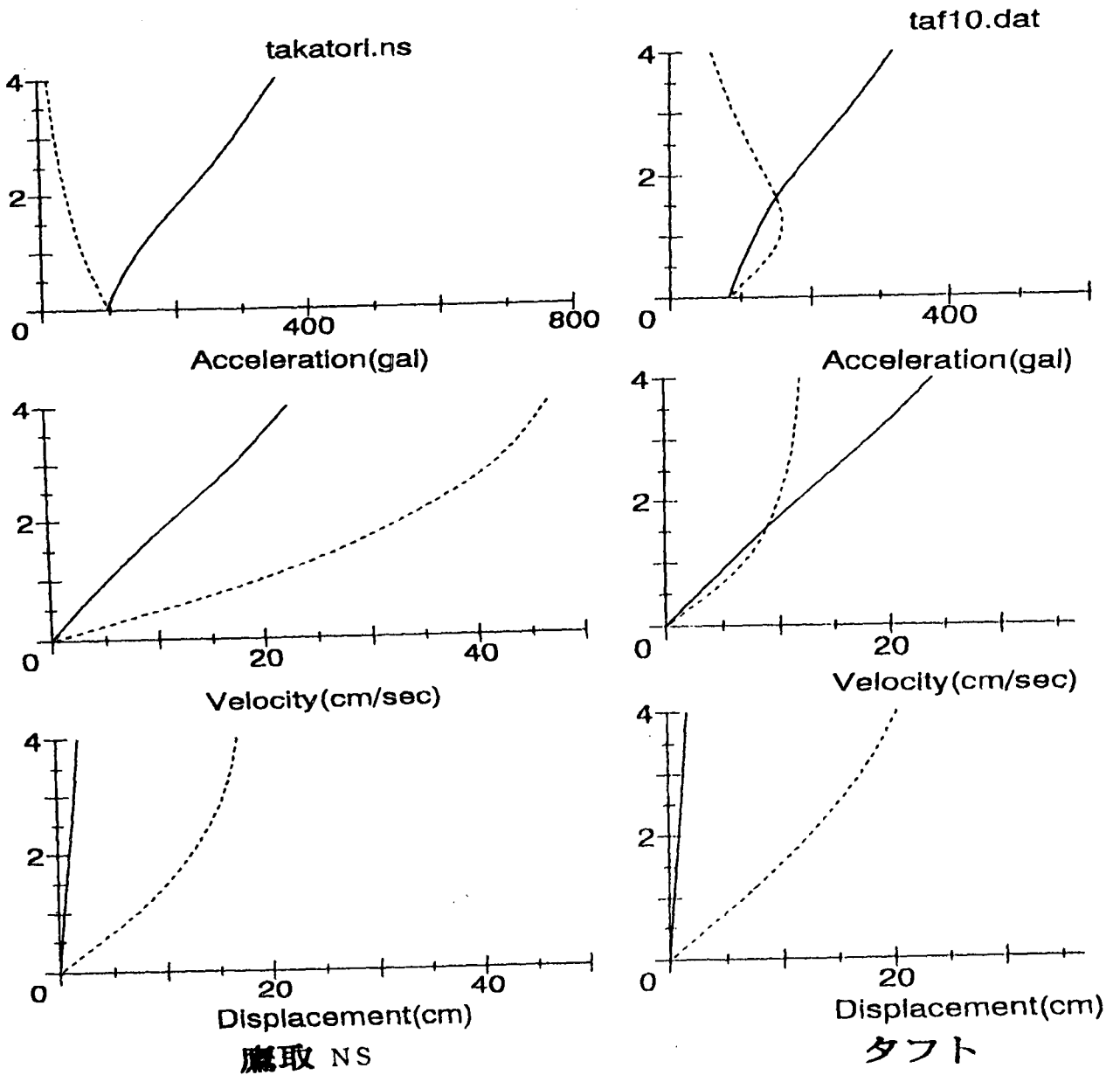
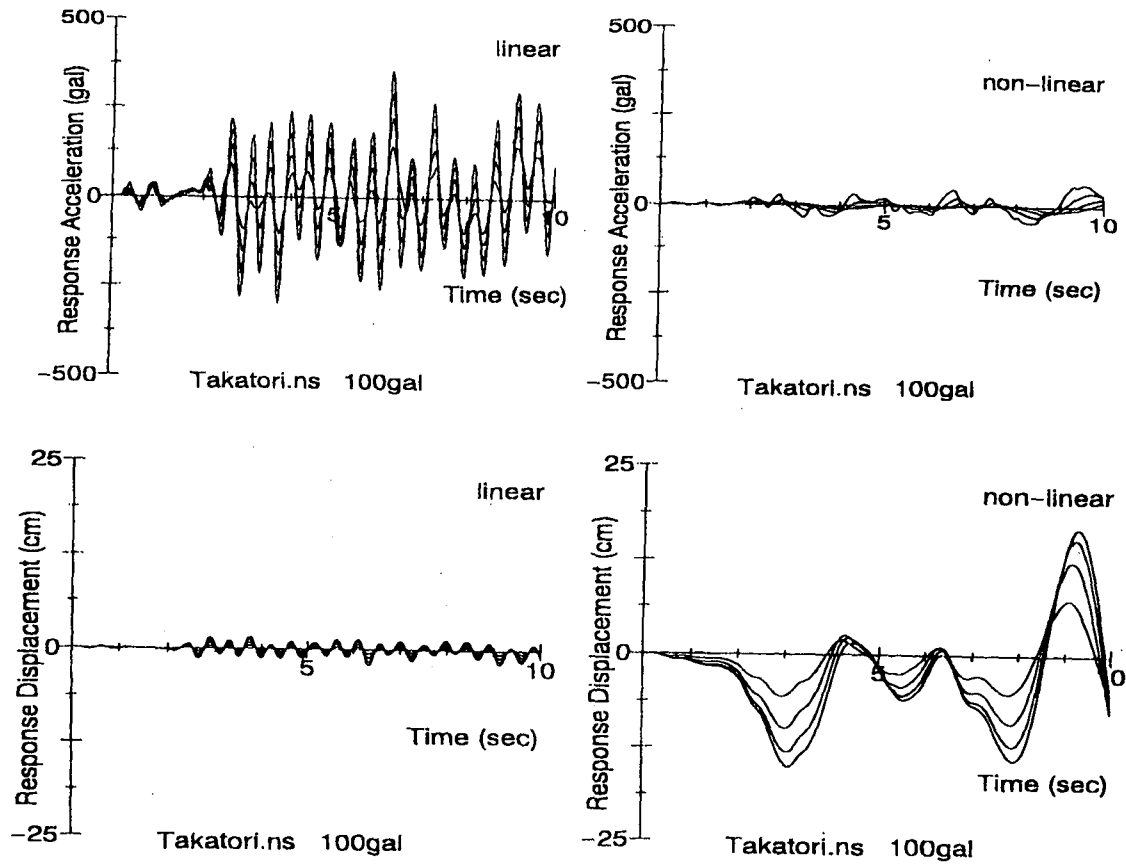
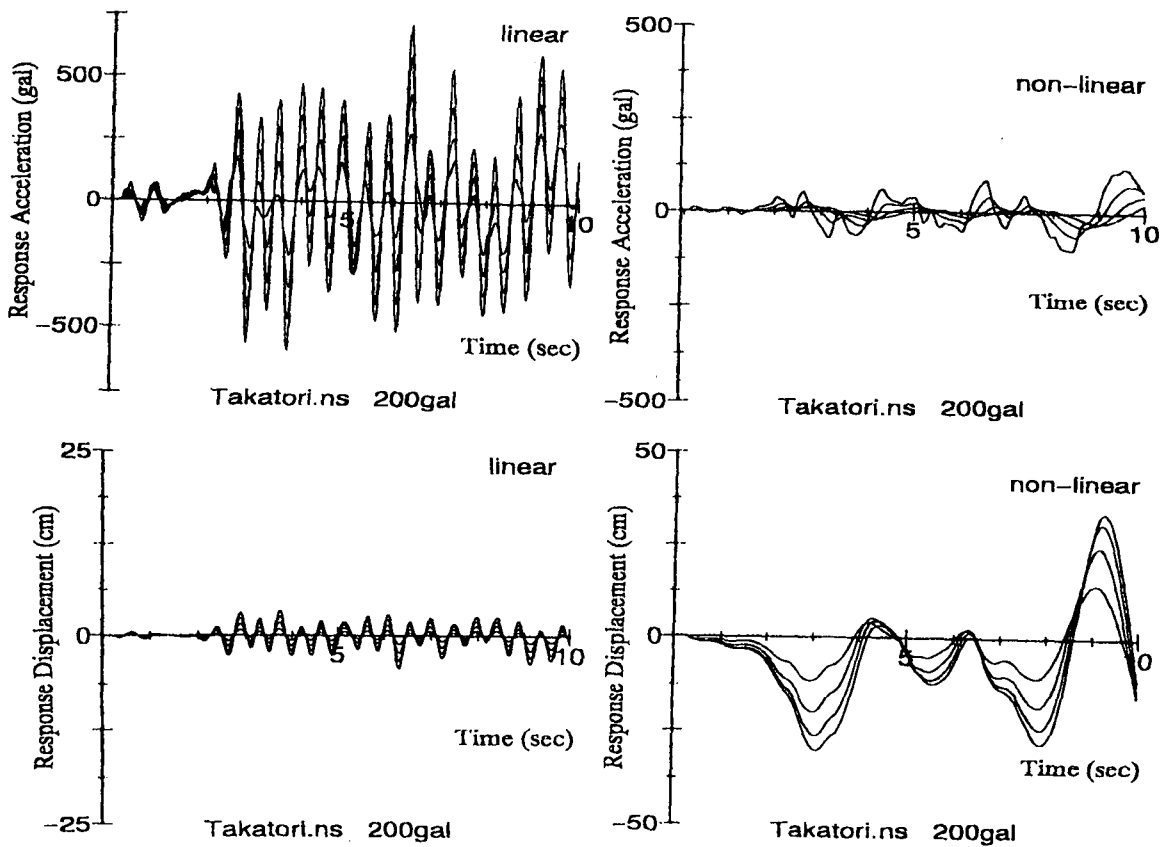


図-9 応答値の最大包絡線分布

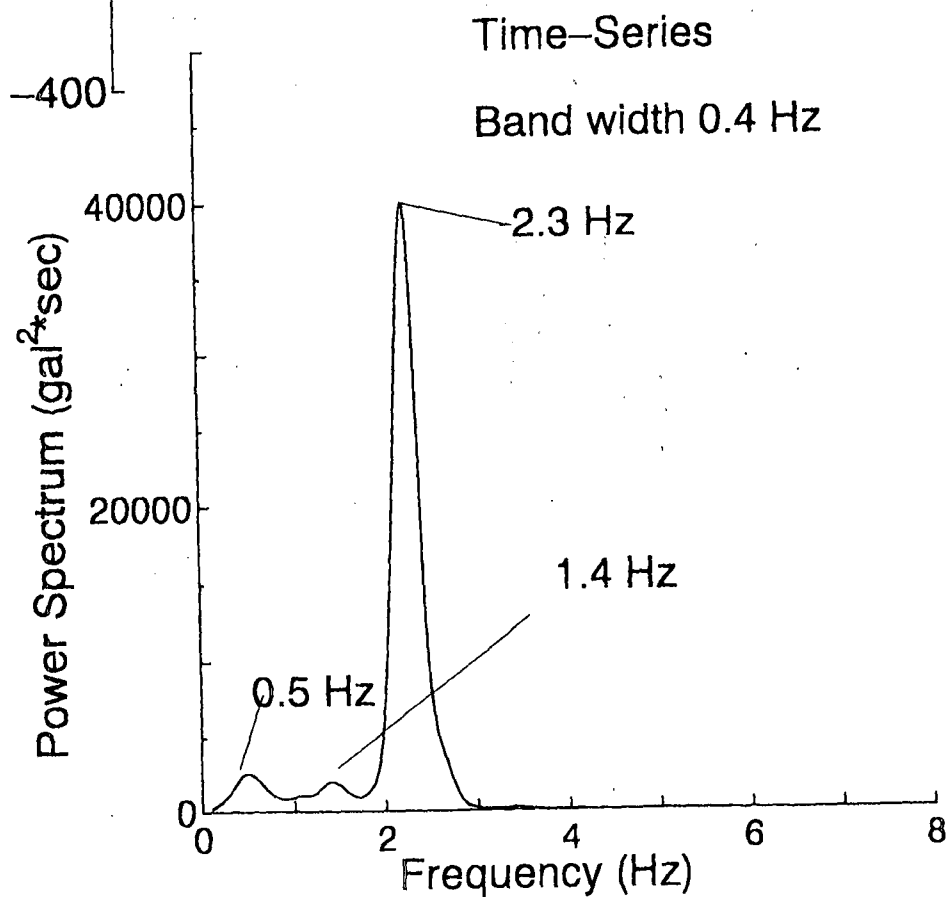
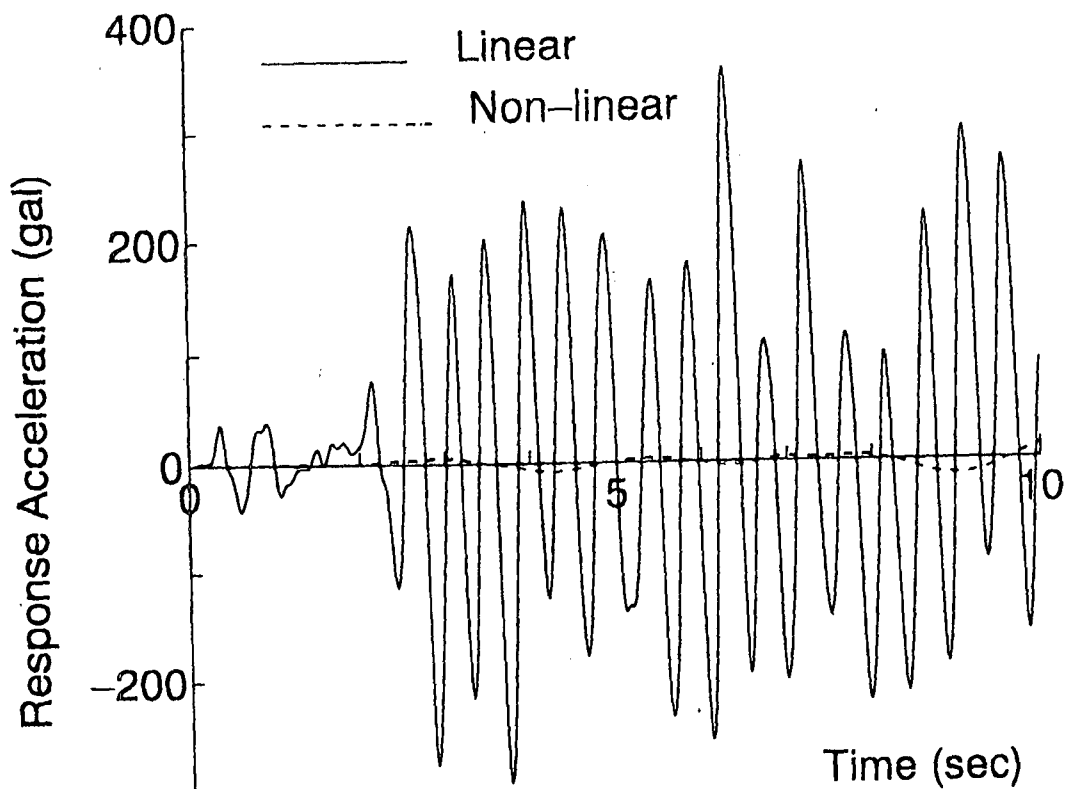


(1) 各層の応答加速度と変位 (100gal入力)



(2) 各層の応答加速度と変位 (200gal入力)

図-10 時刻歴応答波形



(3) 100gal時頂部の応答加速度 (線形, 非線形の比較)

図-10 時刻歴応答波形