

(92) 人工造成地盤における地震時被害予測

愛知工業大学 (正) 谷口仁士
愛知工業大学 (正) 飯田殺事

1. はじめに

最近の地震による被害状況は家屋倒壊などの被害に対し、地盤破壊・斜面崩壊によって住む家屋の倒壊等の被害が相対的に増大しているようである。例えば、1978年の伊豆大島近海地震および同年宮城県沖地震による被害である。宮城県沖地震による被害において、急斜面を宅地として造成した緑ヶ丘団地で擁壁の前倒・すべり出し等による家屋倒壊の被害は新しい都市災害の一面と言えよう。本研究は、名古屋市東部丘陵地に多く見られる造成地盤の地震時における危険度および被害予測を行うものである。

2. 斜面モデルと解析条件

2-1 斜面のモデル；名古屋市の土地区画整理事業は昭和初期に始まり、今日に至っている。この区画整理の時局的推移によれば、区画地域は名古屋市の中心より、徐々に郊外へと移り、今日では図-1に示した市東部丘陵地で大規模に行われている。そこで、図-1に示した地域において、後述する応答解析の關係上、①斜面の保護種類、②斜面の高さ、③斜面の角度、④造成地盤の様式の4項目を主体とした現地調査を行った。調査地点は123ヶ所であり、この調査結果を基に斜面分類を行うと、図-1に示したように4つの形状に分類することができた。この調査結果より、区単位の斜面形状分布を考察すると、図-2に示す結果となった。図-2に示したように、守山、天白、緑区は保護なし斜面の多い地区であり、千種、名東区は向知アロック斜面が多いことわかる。ここで、6区全体の斜面形状別分布の割合を求めると、保護なし斜面は35.8%、コンクリート斜面(盛土)は12.2%、コンクリート斜面(切土)は13.0%、向知アロックの盛土斜面は2.4%、切土斜面は26.0%として、丸石斜面(盛土)は5.7%、切土は4.9%となっている。全体に切土斜面が多いようである。

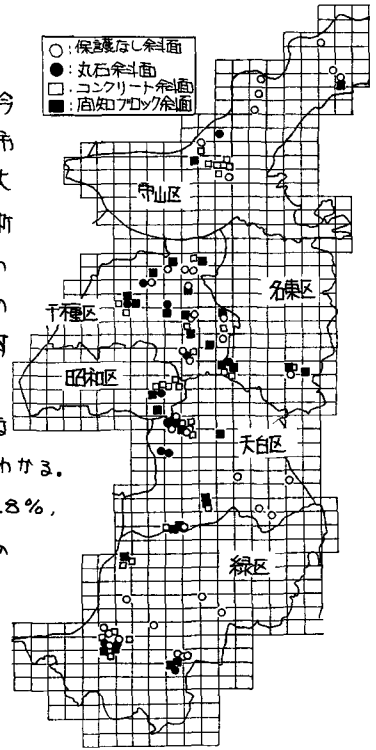


図-1 現地調査地点と斜面保護別造成地分布

2-2. 解析条件；地震時地盤の応答解析手法は地盤構造が水平多層より構成されている地盤においては波の重複反射理論に基づく解析法が用いられるが、丘陵地、人工造成地等の不規則な構造を有する造成地盤においてはこの解析手法は適用できない。この種の向題に対して、工学的分野ではF.E.M法がよく用いられ、また、有用であるとされている。しかし、通常の有限要素解析においては、有限領域の向題しか取り扱うことが出来ないので、半無限の拡がりをもつような地盤系の応答解析に適用しようとする場合、この系を有限な仮想境界で区切らなければならぬ。この仮想境界に与える境界条件は解に大きな影響を与えるものとされている。従って、半無限の拡がりをもつ地盤での応答解析においては、境界条件を適確に定め、系の半無限状態を再現するか、あるいは、有限領域と半無限領域を結合し解析対象となる地盤系を再現することによって解の安定を計る必要があるであろう。

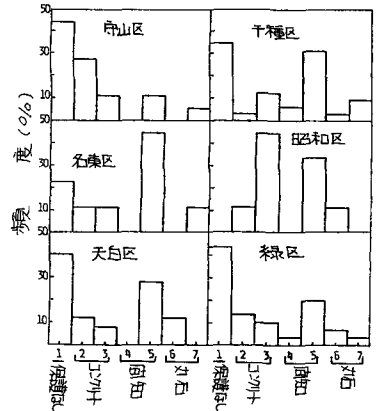


図-2 区別斜面形状別分布 (1,3,5,7... 切土) (2,4,6... 盛土)

そこで、本研究においては、図-3に示したように、水平方向の半無限状態の再現には大規模な側方要素を用いることにより、また、

鉛直方向の再現には、基礎内においてはS波の重複反射理論による応答解析を行い、この応答結果を解析対象地盤の基本となる有限領域への入力とする方法を用いた。一斉、境界条件については、鉛直方向はLysmerの粘性境界条件を使用し、水平方向については佐藤の側方大垂素とLysmerの粘性境界を応用した境界条件を使用した。

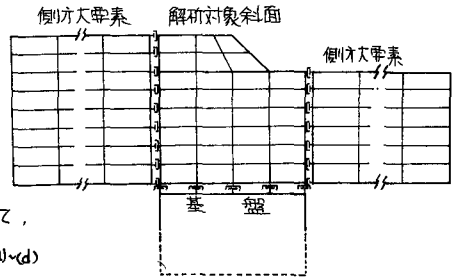


図3 斜面の解析モデルの基本図

次に、図1に示したように4つの斜面形状の解析モデルとして、図3を基に、図4(a)~(d)に示した有限要素モデルとした。図4(a)~(d)に示した各種の擁壁に用いる密度、S波速度について詳細な資料はないが、擁壁に用いられている材料、経過年数より、コンクリート擁壁では $V_s=600\text{m/s}$, $\rho=24$ 、面知アロックは $V_s=800\text{m/s}$, $\rho=2.5$ 、丸石は $V_s=500\text{m/s}$, $\rho=2.1$ と推測した。また、擁壁の厚さについてはコンクリートでは約0.5m~1.0m、面知アロックおよび丸石は0.5~0.7mとした。

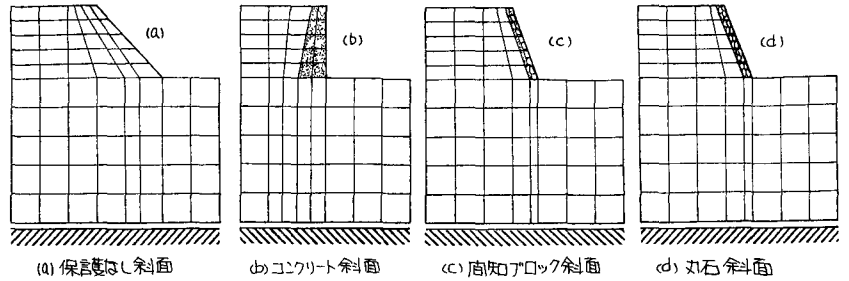


図4 各種斜面形状別解析斜面モデル

その他、計算に必要な斜面高、斜面角度については現地調査より決定し、地層のS波速度については、名古屋地盤図のボーリング柱状図に記載されているN値、土質区分を基に作られた飯田ほかによるS波速度推定式、

$$V_s = 117.88 \cdot N^{0.202} \begin{bmatrix} 1.000 (\text{冲種}) \\ 1.423 (\text{洪種}) \\ 1.810 (\text{沖三紀}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1.000 (\text{粘土}) \\ 0.832 (\text{シルト}) \\ 0.787 (\text{砂}) \\ 0.887 (\text{礫}) \end{bmatrix}$$

より算出した値を用いた。ただし盤土については $V_s=50\text{m/s}$ とした。

3. 宮城県沖地震による造成地盤の応答解析

図5に宮城県沖地震で被害を受けた仙台市緑ヶ丘団地の地盤構造と応答解析結果の一部を示した。図に示したように、基礎が露出しているNo.30では、この周波数帯域においても増巾度は1.0倍程度とほっている。No.90およびNo.114では、1.0Hzおよび3.8Hz付近にピークを

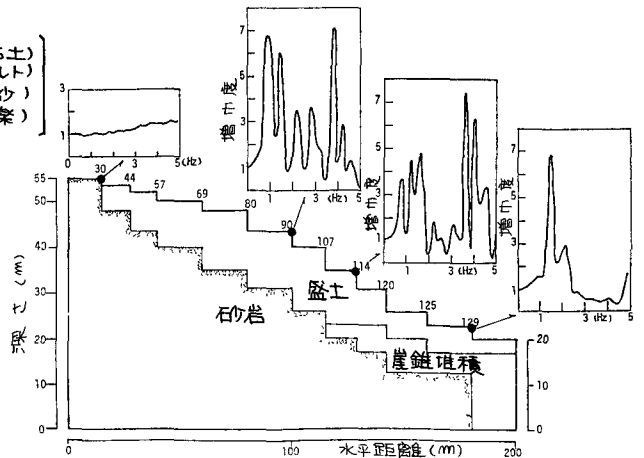


図5 緑ヶ丘団地の斜面モデルと応答スペクトル

有するスペクトル構造を有しており、増巾度はNo.90で約7倍、No.114で7.2倍とほっている。砂岩より上の地層を盤土と考えたとき、各節点での増巾度と盤土厚との関係は比例関係にあるよである。一斉、浅田はこの緑ヶ丘団地での盤土厚と住家被害状況について、被害は切土地盤ではほとんど見られず、大多数は盤土地盤に発生し、盤土厚とともに被害も増大していると報告している。従って、盤土厚に対する被害状況と増巾度の関係は調和的であることより、両者の間どの関係式が求まるものと推察できる。そこで、図6に盤土厚に対する被害状況と増巾度の関係を示した。図中の白丸および黒線は浅田による報告であり、黒丸および黒線は計算結果による値である。また、仙台市における墓石の転倒および地下構造より、この地盤の地震基礎の最大入力加速度を 100gal

としたときの各斜面での応答加速度も示した。図に示したように、増巾度と全壊率はほぼ比例関係にあり、増巾度10倍が全壊率20%に相当するようである。両者の関係は、全壊率を Y_p 、増巾度を Y_A とすると、

$$Y_p = 2.31 \cdot Y_A - 1.87$$

となる。ここで、先に述べた地表面での最大加速度 α_m と全壊率との関係を求めると、

$$Y_p = 0.033 \cdot \alpha_m - 1.87 \quad \text{--- (1)}$$

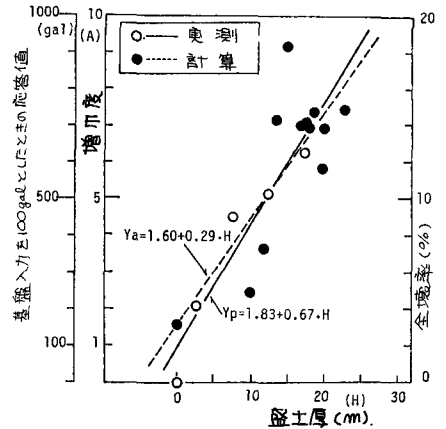
なる関係が成立する。ただし、この関係は、実測結果より、 α_m が約230gal以上のときに適用できるものとする。

4. 名古屋市における応答解析結果と被害予測

4-1. 斜面形状による振動特性の相違

図7(a)~(d)に各斜面形状毎に、卓越周波数、増巾度、S波速度の関係を三次元的に表現した。図に示したように三者の関係は周知アロックと丸石斜面はよく似た形状を示しているが、その他の斜面については極めて異なる形態をしている。すなわち、保護なし斜面においては、増巾度は全体的に大きく、三者によって形成される空室体積も大きくなっている。一方、コンクリート斜面においては、増巾度は2.5倍程度の値で頭打ちとなり、空室体積は他の3種の斜面の中で最も小さくなっている。周知アロックと丸石斜面においては3~3.5倍の増巾度となる斜面は数隻あるが、大多数は2~2.5倍となっている。三者によって形成される空室体積は両者ともほぼ同じくらいである。次に、各斜面

図6. モデル斜面の盛土厚と増巾度および全壊率



(A) 保護なし斜面
形状別に、最大増巾度の
程度分布を図

8に示した。
また、同図中
に増巾度の抽
出平均値を示
した。図8に
示したように、
保護なし斜面

では増巾度が
1.5~2.0倍と25
%~3.0倍で最頻
値26.7%となり、
同様に、コンク
リート斜面では
2.0~2.5倍で63.2
%、周知アロ
ック斜面では
1.5~2.0倍で
55.6%、丸石
斜面では4.5~

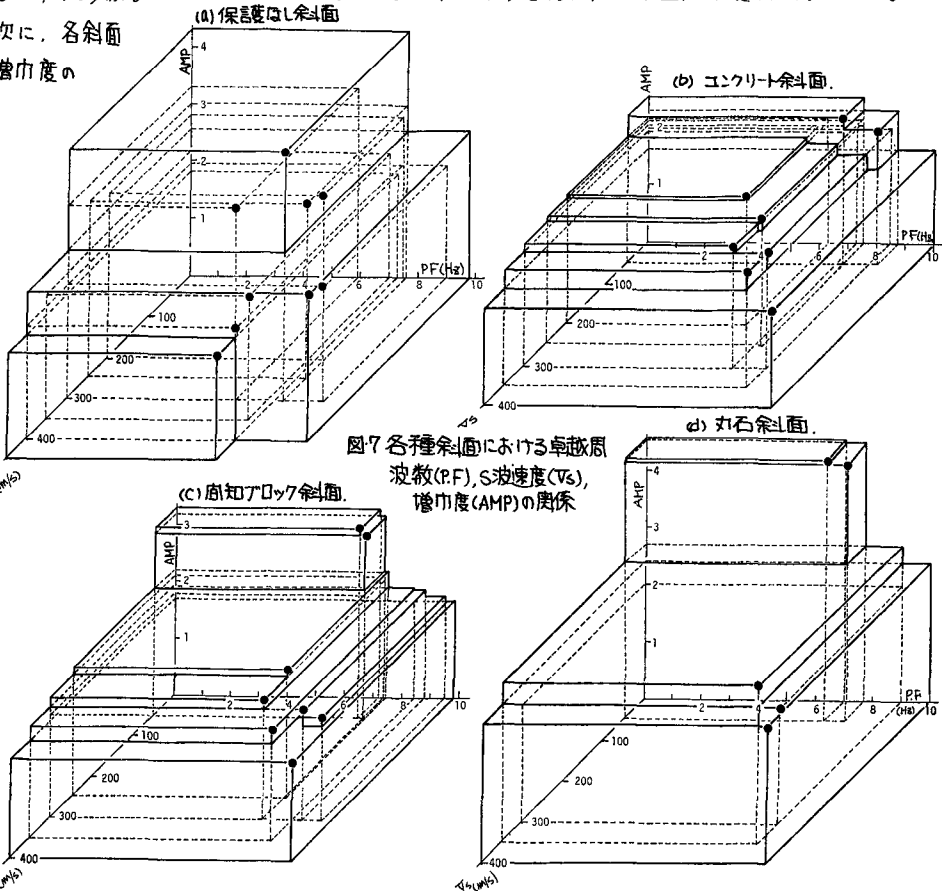
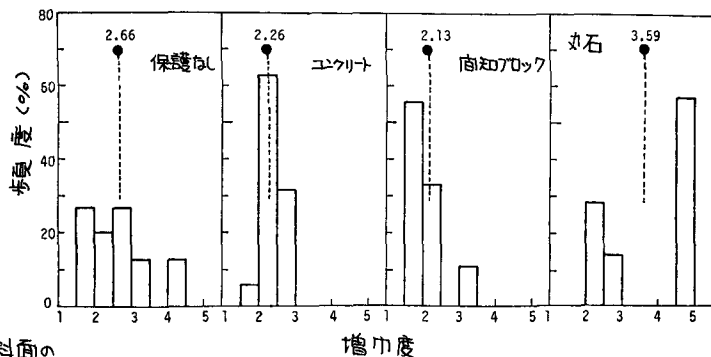


図7 各種斜面における卓越周波数(PF), S波速度(V_s), 増巾度(AMP)の関係

5.0倍で57.1%となっている。以上のことより、斜面形状別に見た地震時の危険度について考察すると、増巾度より盛土斜面で、かつ、丸石で保護された斜面の危険度が最も大きく、次に、保護なし、向知ブロックそしてコンクリート斜面の順になると思われる。



4-2. 名古屋市の斜面の増巾度特性

前述した各斜面別の増巾度特性を、斜面の

現地調査結果に基づきまとめたのが図9である。図8各種斜面形状別増巾度分布と増巾度の相加平均値、

図9は斜面危険度の地域特性を考慮し、A-Eの5つの地域ゾーンに分割したものである。ただし、この図は斜面形状分類は考慮していない。図に示したように、Cゾーンを除く全ての

ゾーンにおいて増巾度2-3倍が最頻値となっている。ゾーンB、Dを以てEにおいて

増巾度が4倍以上となる斜面が10%以上存在している。すなわち、この増巾度分布より、危険度が高いと予測される地域は千種区東部の11事、南山、東山付近として緑区鳴海町付近である。

4-3 斜面上の家屋の被害予測

図8および図9で求めた斜面形状別増巾度特性と地域特性および

前述の(1)式より、名古屋市東部の被害予測を行った。予測方法は先に計算した増巾度と想定地震に対する地震基礎での入射最大加速度を乗算することにより、斜面法肩での最大応答加速度を算出し、この加速度と(1)式より、全壊率を推定した。想定地震は想定東海地震等の3つの地震とし、これらの地震に対する被害予測結果を表1に示した。表中に示した統計的に求めた被害予測とは、まず、図1に示した区別の斜面形状別頻度分布より斜面数を算出し、次に、図8に示した斜面形状別増巾度の相加平均値より最大加速度を予測し、被害棟数を求めたものである。

表に示したように、想定東海地震においては斜面に建造された家屋の1.18%が全壊

し、東南海、陸地中地震級では4.02%、濃尾地震級では8.48%が

全壊する予測結果となった。また、被害が大きくなると予測された

地域は千種区東部、天白区北部として緑区であった。

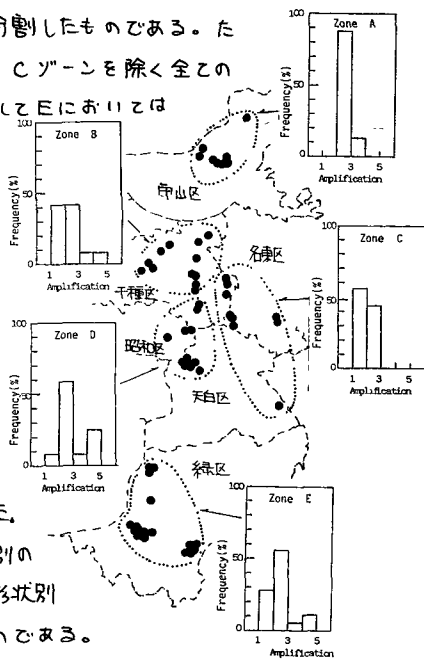


図9. 地域別増巾度の頻度分布

表1 想定地震別全壊棟数の予測結果

想定地震と入力加速度	応答計算による被害予測	統計的に求めた被害予測	合計
想定東海地震 (70 gal)	343棟	275棟	618棟 (1.18%)
東南海、陸地中地震 (100 gal)	667棟	1,433棟	2,100棟 (4.02%)
濃尾地震程度 (120 gal)	1,007棟	3,417棟	4,424棟 (8.48%)

5. おわりに、

名古屋市域における地域別地震被害推定の宅地造成地盤に属する地震危険度の推定を行った。その結果をまとめると以下のようになる。

- ①. 斜面形状別応答解析結果によれば、丸石、保護なし斜面では大きな増巾度を示し危険度は高いが、コンクリート、向知ブロック斜面では増巾度は小さくなっている。
- ②. 斜面の危険度が高いと予測された地域は千種区東部、天白区北部として緑区鳴海町付近であった。

おわりにのぞみ、本研究を進めるに当たって、名古屋大学・工・建築学科多賀直恒助教授と豊田豊助先生の御指導と御助力に対し深く感謝する次第である。