

今月は論文報告集第152号(44年2月20日発行) 登載原稿として、つぎの5編を紹介いたします。今月紹介した論文報告に対する討議は44年8月20日まで受付けます。次号では論文報告集第163号登載予定原稿として下記の5編を紹介する予定です。

- 会田忠義：トラスげたの自由振動の立体的解析  
 山田善一・竹宮宏和：不規則外力による多自由度系の応答解析とその長大つり橋タワービアー系の耐震解析への応用  
 鈴木正勝・西畑勇夫：低平地における内水流出解析に関する一研究  
 大西外明・日野幹雄：密度成層流におよぼす Point Sink の高さの効果  
 佐佐木綱・前島忠文：道路網形態に関する一考察

## 擬似地震動の実用性について

片 山 恒 雄

擬似地震とは Simulated Earthquake Motion の意味であって、ある地点で測定された常時微動や実際の地震動から推定される地盤の性質を用いて、その地点に将来おこりそうな地震動を、一定の計算手順にそって求めたものをさす。

構造物に想定地震動を作用させて、その応答を調べることが最近盛んであるが、入力波形としては El Centro (1940年5月19日) 記録などが、地盤条件の相違を無視して使用されることが多い。さらに、材料や振動系の非線型性を考慮した動的応答解析を行なう時には、普通統計的には性質の等しい1群の入力波形を用意し、これら1群の応答を統計的に解析して、その性質を定めることが必要である。

多治見が提唱した地震動の加速度スペクトル密度の表示式 (Proc. 2nd WCEE, 1960) を用いて、Housner らは電子計算機で擬似地震動の加速度記録を作成する方法を発表している (Proc. ASCE, No. EM1, 1964)。この方法により、Housner らは、Housner の標準速度応答スペクトルから推定されたパラメータを用いて、アメリカ合衆国西岸の硬い地盤に予想される8個の擬似地震動を作成し、その性質を速度応答スペクトルを中心に調べ、これらが定性的にも定量的にも実際の地震動の性質とかなりよく合致していることを示した。

地震記録が観測地点の地盤の性質の影響を受けることは知られているが、地盤の振動的性質を知る簡単でしかも相当に信頼のおける方法に常時微動測定がある。日本

では、各種地盤上の常時微動の測定が多く行なわれており、したがってこれらの測定結果から得られた性質が擬似地震動の作成に役立てられれば、きわめて有意義であると思われる。

本研究では、Housner らの方法によって、各種の地盤上に、予想される擬似地震動を70個あまり作成し、それらの性質を周期分布特性を中心に、加速度記録の外観、最大速度および変位、スペクトル強度 (Spectrum Intensity) について実際の地震動や常時微動の性質と比較検討した。その結果、以下の事柄が明らかとなった。

実地震動や常時微動記録の周期—頻度曲線が顕著な一つの山を示すような場合、これらの実測されたものとはほとんど同じ周期分布特性を有する擬似地震動を作成することができる。周期—頻度曲線がいくつかの低い山を有する場合にも、適当なパラメータを選んで、これと定性的によく似た周期分布特性を持つ擬似地震動を作成することができる。

擬似地震動の加速度記録を積分して得られる最大速度最大変位は、実際の強震記録から計算された最大速度、最大変位より相当に大きな値を有する。

一定の地盤条件に対し、20%減衰スペクトル強度で表わされる地震動の激しさは、継続時間が25秒位のとき最大加速度で規定できる。また20%減衰スペクトル強度の値は、同じ最大加速度と継続時間を有する地震動についても、地盤条件によって相当に大きく変動する。

これらの研究結果から、常時微動測定結果を利用してある地点に将来おこりそうな地震動と似た性質を持つ擬似地震動を作成することが、かなり現実的な問題であることが明らかとなった。

(1968. 7. 9・受付)

【筆者：正会員 中央大学講師 理工学部】

## はりの動的破壊時の復元力特性 に関する基礎的実験

伯 野 元 彦・四 俵 正 俊

土木構造物の耐震設計は電子計算機の普及にともなって、構造物が地震を受けた時の振動を忠実に計算しその安全性をチェックするという方向に進んでいる。この振動計算を行なう場合、強震と称せられるような大地震を想定する時には、構造物の「力—変位」関係は線形関係を越えて、ヒステリシスをともなった図—1のような関係を仮定して計算している。この仮定は、従来行なわれて来た静的破壊試験の結果を準用しているものであって、動的外力による試験結果がほとんど無い現在やむを得ないことである。

本研究は、電気油圧式の任意波動的破壊試験機によ

って、小さい鋼供試体の曲げ破壊試験を行ない、「力-変位」関係を定性的に明らかにしたものである。

### 強制振動力試験

供試体に加える力をあらかじめ予定した通りに与える試験であって、供試体に永久変形が生じる等の特徴がある。図-2は、実験の入力として用いた擬似地震波形である。

写真-1は正弦波外力による破壊試験の場合の「力-変位」関係。ヒステリシスを画きながら横軸方向へずれて行く。縦軸は加振力、横軸は変位。

### 強制変位試験

図-1 応力-ひずみ曲線 (ヒステリシス)

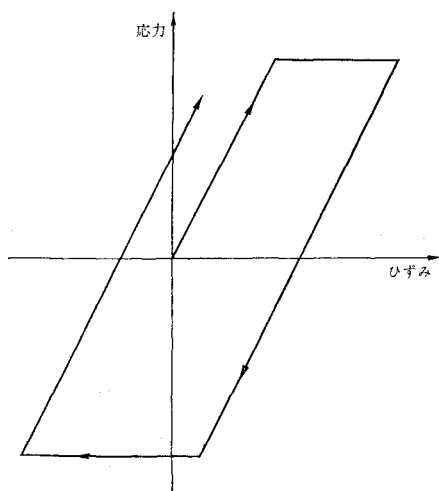


図-2 擬似地震波

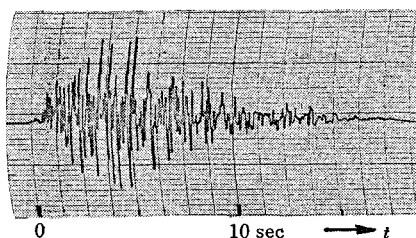
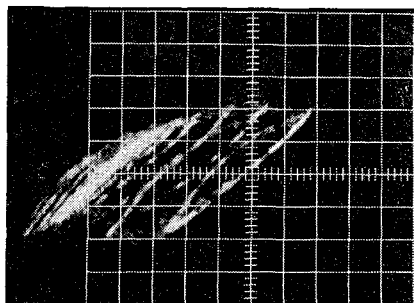


写真-1 動的破壊状況加振力：正弦波 (力制御)



与えられた通りの変位を供試体を与えて破壊させる試験で、破壊するといっても低サイクル疲労による破壊である。

写真-2は正弦波変位を与えた時の「反力-変位」関係であるが、最初のうちは教科書のヒステリシスを画いているが、変形を繰り返しているうちに反力が徐々に減少し、ついには水平のヒステリシスを画くようになる。

写真-2 正弦波強制変形の繰り返しによる塑性疲労 (変位制御)

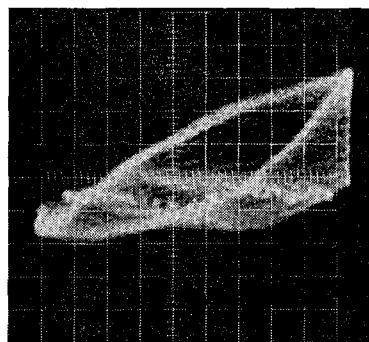


写真-3は過渡的不規則変形を与えた場合の「反力-変位」図を示す。通常のヒステリシス曲線の内側で複雑な動きをしているようである。

写真-3 過渡ランダム強制変位による力-変位関係 (変位制御)

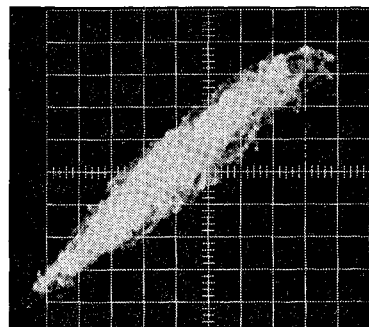
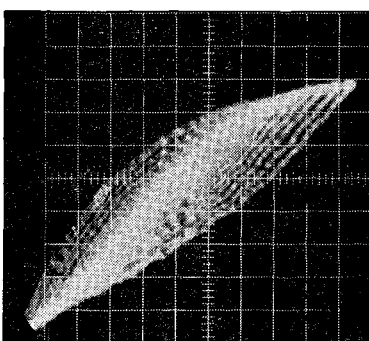


写真-4は過渡的正弦波を与えた場合の「反力-変位」関係であるがヒステリシスの頂点は Soft-Spring 上に沿った軌跡を画いている。

写真-4 過渡正弦波強制変位による力-変位関係 (変位制御)



小さな供試体ではあるが、種々の波形の外力によってはりが動的破壊する時の定性的な「力-変位」関係を部分的にはあるが、明らかにした。

今後の研究課題は、実験結果に対する寸法効果を、明らかにすることであろう。

(1968. 8. 7. 受付)

〔伯野：正会員 工博 東京工業大学助教授 工学部〕  
〔四俵：正会員 東京工業大学助手 同 〕

# 正規圧密粘土の非排水せん断に伴う 有効応力の変化特性について

皇昭治郎・太田秀樹

現在の土質力学における地盤および土構造物の安定解析の理論は、土の極限的なせん断抵抗力だけに注目して組み立てられている。したがって設計において土のせん断をとりあつかう場合には、応力に関する破壊条件だけを考慮している。しかし、構造物の密集した市街地域における地盤のカットその他の施工中に地盤が変形し、近隣の構造物に損害を与える例はきわめて多い。このため変形を考慮した安定解析法の必要性が痛感されるが、そのアプローチとして土のせん断特性をせん断の全過程にわたってとらえる試みが考えられる。また粘土のせん断特性に関する多くの実験的事実を、より統一的な体系として表現するためには、破壊点という、定義の不明確なある特定の点だけをとりあつかうより、せん断過程全体を問題にする方が正確な判断を下すうえで優れていると考えられる。筆者らは正規圧密粘土を非排水状態に保ったまま、せん断応力を増加させた場合に得られる stress path を表わす式を、正規圧密粘土の圧密特性とダイレイタンスーに関する実験的な関係式を基礎にして導いた。この式により等方圧密、異方圧密された正規圧密粘土の非排水せん断における stress path が求められるのみならず、せん断特性におよぼす中間主応力の影響を示すことができ、また平面ひずみ状態における stress path を近似的に与えることができる。正規圧密粘土にかかる応力の微小変化によってひきおこされる微小体積変化は近似的に次式で表わすことができる。

$$\frac{dV}{V} = \left( \frac{\sqrt{2}}{\mu} - \frac{\tau_{oct} - \tau_{nd}}{\sigma_{mi}'} \right) \frac{d\sigma_{mi}'}{\sigma_{mi}'} + \frac{d\tau_{oct}}{\sigma_{mi}'} \dots (1)$$

ここで係数  $\mu$  は粘土の骨組構造によってきまると考えられるもので定数であると考えてよい。また  $\tau_{nd}$  は  $\tau_{oct}$  が  $\tau_{nd}$  を越えるまではダイレイタンスーがおこらないという限界を与えるもので、きわめて緩速でせん断を行なって、せん断変形に対応して粘土の骨組構造が再配列するための時間的余裕が十分与えられている場合には 0 になると考えられる。非排水せん断は体積変化を 0 に保って行なわれるため、式(1)の左辺を 0 と置き、せん断前の応力状態を添字をつけ、これを初期条件として微分方程式を解くと、

$$\left. \begin{aligned} \frac{S_1}{\sigma_{mi}'} &= \frac{3}{(2-N)k + (1+N)} \\ \exp \left\{ -\mu \frac{\sqrt{1-N+N^2}(1-k)}{(2-N)k + (1+N)} \right\} & \dots (2) \\ \frac{S_3}{\sigma_{mi}'} &= k \frac{S_1}{\sigma_{mi}'} \end{aligned} \right\}$$

となる。ここに  $S_1, S_3$  は  $\sigma_1', \sigma_3'$  を特異点を原点とする座標で表わしたものであり、

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \sigma_1' - \frac{1}{3}(2-N)\sigma_{nd} \\ S_3 &= \sigma_3' + \frac{1}{3}(1+N)\sigma_{nd} \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

で与えられる。ただし、

$$\sigma_{nd} = \frac{3}{\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{1-N+N^2}} \tau_{nd} \dots (4)$$

であり、

$$N = \frac{\sigma_2' - \sigma_3'}{\sigma_1' - \sigma_3'} \dots (5)$$

である。また、 $k = S_3/S_1$  である。

これらの式で与えられる理論曲線は等方圧密、異方圧密された粘土の実験による stress path ときわめてよい一致を示しており、また中間主応力の影響についても実験データとよく一致している。

式(2)はその誘導においてせん断中  $N$  の値が変化しないという仮定を用いている。しかし、平面ひずみ状態でのせん断などの一般的な場合について議論する必要がある場合がある。このためには式(1)の左辺を 0 と置いた式を、 $\tau_{oct} - \tau_{nd}, \sigma_{mi}'$  について解いた式を用いればよい。前述と同様の記号を用いて解を求めると、

$$\frac{\tau_{oct} - \tau_{nd}}{\sigma_{mi}'} = -\frac{\sqrt{2}}{\mu} \frac{\sigma_{mi}'}{\sigma_{mi}'} \ln \frac{\sigma_{mi}'}{\sigma_{mi}'} \dots (6)$$

が得られる。

以上の式を実験データと比較検討することにより、正規圧密粘土のせん断特性と骨組構造との関係を知ることが可能となった。

(1968. 7. 29. 受付)

〔 皇：正会員 工博 京都大学教授 工学部  
太田：学生会員 工修 京都大学大学院 〕

## 二層地盤の力学性状に関する解析的研究

木村 孟

載荷された基礎地盤の力学的性状を解析的に考察する研究は数多く試みられてきた。一様半無限体に関するいわゆる Boussinesq の問題として周知の弾性解は、基礎地盤工学の分野において、多岐にわたって利用されている。しかしながら現実の地盤特性が均一であることはむしろまれで、たとえば多層地盤を対象としないかぎり実際の応用の道は少ない。したがって沖積地盤の典型であり、舗装構造のモデルとして重要な二層地盤については多くの研究がなされている。それらは水平層を対象としかつ鉛直荷重に関する研究が大部分であって、層の形状や方向に対する考慮が十分であったとはいえない。

本論文ではこのような観点から、(1) 斜め地盤の応力

性状、(2) 二層地盤の接触応力問題、(3) くぼみのある地盤の載荷問題および(4) 水平外力を受ける二層水平地盤の変位性状をとりあげ主として解析的および数値的考察を試みた。つぎに研究の概要を述べる。

### (1) 斜め地盤の応力性状

下層地盤が傾斜しその上に堆積した沖積地形に遭遇することはまれではないが、載荷による応力性状や圧密沈下に与える傾斜の影響については定量的にほとんど知られていない。本研究では岩盤との接触が滑らかであるようなやわらかい斜め粘土層が、局部的等分布荷重を受けたときの弾性解および圧密解を求め、前者について数値計算を行なって区間の位置や傾斜(角  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ )の影響を論じた。その結果、鉛直応力について浅い側の応力集中が、さほどなく傾斜は不等沈下を予想以上に大きくすること、ならびにくさびの頂点に近い載荷端までの距離を  $a$ 、載荷幅を  $l$  としたとき  $(a+l)/a < 1.5$  (角  $30^\circ$ )、 $5/3$  (角  $45^\circ$ ) では、ほとんど平均応力すなわち圧密沈下に与える影響を無視してよいことが結論された。この傾向は実験的にも確かめられている。

### (2) 二層地盤の接触応力問題

岩盤上にある有限土層の問題は、二層地盤の一つの極限と考えられるための数多くの研究が試みられているが、これらは境界条件として表面での応力を指定したいわゆるたわみ性載荷の場合が多い。また接触条件を忠実に再現するものであっても、沈下計算時に近似仮定を行なっているのであって、表面で一定の変位を考える剛性載荷に対する厳密なる研究はないようである。他方、構造物の高層化に伴い沖積地盤上の剛性載荷の例は急激に増加しつつある現状であり、構造物の二次応力におよぼす接触反力の性状を明らかにすることの実用的意義は少なくないものと思われる。本研究では有限層に関する弾性応力解を重ね合わせて、剛性載荷条件を満たす接触応力の分布を求めた。その結果層厚が相対的に小さくなると載荷中央部の接触圧が半無限時にくらべて大きくなり平均化が進むこと、層厚/幅比が 1.5 以上では有限層を半無限体と考えて実用上さしつかえないこと、またポアソン比の影響はあまりないことおよび接触圧の分布については、従来の近似解法の精度が比較的良好なことなどが判明した。また解析結果は模型実験により検討し、土のような非弾性物体に対する解の適用性についても考察を試みた。

### (3) くぼみのある地盤の載荷問題

地表面になだらかな浅いくぼみがあって、そこに表面力が作用するとき地盤応力を数値的に求める方法を提案

した。すなわちくぼみを無視した半無限体の表面(仮想境界)のくぼみで仕切られる範囲に未知の鉛直および水平力を仮想し、あらかじめ指定されたくぼみ面上の応力値が、既知境界応力に一致するような仮想外力を求める方法である。数値計算例によって検討した結果、くぼみの深さが大きくなっても、さほど顕著な応力集中はみられないが、表面近くでの応力の横分散は大きくなり、その程度は水平外力の方が鉛直外力よりも著しくなることが見出され、舗装の破壊におよぼすくぼみの影響の一端が説明された。

### (4) 水平外力を受ける二層水平地盤の変位性状

舗装が摩擦によって水平せん断力を受け、地盤が地震によって、水平外力をおよぼされる頻度は少なくない。本研究ではこれら地盤の表面に加わる水平力によって生ずる水平変位の影響を検討するため、二層地盤に作用する水平外力による水平変位の弾性理論値を求め、現場実測値との比較を試みた。その結果鉛直外力と同程度の大きさの水平力が働く場合の水平変位は、前者による鉛直変位の  $1/2$  程度となり舗装に有害な影響を与えること、一般に実測値の方が計算値よりも小さな値を示すことが結論された。

(1968. 8.1・受付)

[筆者：正会員 工博 東京工業大学助教授 工学部]

## 鉄道橋としての鉄筋コンクリート 斜角げたの設計に関する研究

松本 嘉司

最近建設される鉄道、道路には立体交差が多く用いられており、また、この立体交差の大部分が斜角交差である。これは交差する路線の線形が重んじられてきたことに起因している。この斜角橋を橋梁の形態から分類すると斜角スラブと斜角げたとなるが、斜角スラブについては数多くの文献があり、その設計方法もある程度解明されている。しかしスパン幅比の小さい斜角げたについての既往の研究はきわめて少ない。

本研究はコンクリート斜角げた橋の設計方法について論じたもので、支点の弾性の影響を考慮した斜角げたの一般式を導き、この理論結果を検討するため3種類のコンクリート実験げたと斜角度と支点の弾性を変えて載荷試験を行なった。この実験結果と実際の斜角コンクリート鉄道橋の載荷試験結果とを比較検討し、コンクリート斜角げたの設計方法について提案を行ない、さらにこのコンクリート斜角げた橋の適用範囲についても検討を行なったものである。

(1968. 8.7・受付)

[筆者：正会員 工博 東京工業大学助教授 工学部]