

今月は論文報告集第173号(45年1月20日発行)登載原稿として、つぎの6編を紹介します。今月紹介した論文報告に対する討議は45年7月20日まで受け付けます。次号では論文報告集第174号登載予定原稿として下記の7編を紹介する予定です。

- 成岡昌夫・若林武忠・沢野邦彦・浜田純夫：直径 19 mm のスタッドジベルの押し抜き疲労強度に関する研究
 島田静雄：相関解析手法による構造物の振動解析
 前田幸雄・藤本一男：2ヒンジアーチの塑性崩壊荷重の算定について
 小松定夫・中井 博：曲線桁橋の動的応答に関する基礎的研究
 山本 宏：円弧部材を有する平面構造物に対するモーメント分配法
 村井俊治・嶋田厚二：路線選定システムにおける平面曲線の自動整形の試み
 奥谷 巖：最大原理による信号オフセットパターンの決定

電磁力加振方式によるアーチ ダム模型 振動試験方法について

岡本舜三・加藤勝行・小野公一郎

動水圧をも考慮したアーチダムの地震時応力を評価する研究はこれまで小坪博士、畑野博士らによって行なわれている。小坪博士はダムを剛体とし、貯水の圧縮性を考慮して解析的研究を行なった。畑野博士は貯水池の実情を考えると貯水の弾性は考慮する必要はないとし、貯水を非圧縮性流体、ダムを可撓性構造物としてこの問題を数値解析した。しかしこの際ダムの地震時変形は仮定によって定められている。ダムの変形を実体に即して考慮することはいまだなされておらず、実験的にせよ、解析的にせよ、その解決が望まれているのであるが、本研究は模型実験によってこの問題の解決を試みたものである。

模型による振動試験は通常はモデルを振動台にのせて振動を与える方法で行なわれる。しかしアーチダムの場合は基礎地山を再現する必要があるため、モデルは重さが重くなり、振動台上にのせて比較的高振動数で振動実験を行なうには適当でない。貯水を考える場合はなおさらである。

この難点を除くために著者は生研式と称する一方法を考案したが、この方法では模型は固定床土上に作られ、その表面にはほぼ一様に配置された多数の電磁型加振器を通

じて動的外力が模型に加えられる。そしてこの動的外力によって生ずる堤体のひずみと変位が測定され、相似率によって応力と変位が求められるのである。

しかし先の報文では貯水池が空虚の場合について試験方法と試験結果の一例をのべたにすぎなかった。この時点では貯水時の模型試験は困難と考えられたからである。その後畑野博士の論文よりヒントを得て、満水時における試験を行なう方法を考案した。まだ解決を要する問題を若干残してはいるが大筋においてはこれで問題を解決し得たように思う。

(1969.6.24・受付)

岡本：正会員 工博 東京大学教授 生産技術研究所
 加藤・小野：正会員 東京大学生産技術研究所

三次元直交異方性弾性岩盤内の円形 坑道周辺の応力および変形

丹羽義次・小林昭一・平島健一

岩盤内の3つの地山初期主応力は一般的には鉛直や水平に対して傾斜した状態にあり、その方向と大きさを知ることが、地下構造物を設計する上で最も重要である。

最近になって各種の試験方法により実験的に坑道内での初期主応力(2次主応力)を求める試みがなされている。このような場合、坑道内周辺で得た応力から坑道開削の影響を受けていない位置での初期主応力(1次主応力)を算定することが必要である。

現在、2次主応力から1次主応力を算出するに際しては、岩盤は等質等方の完全弾性体であるという仮定を設けた解析がなされている。すなわち、任意方向より3つの地山初期主応力が作用する場合の坑道周辺に生じる応力(2次応力)の弾性解が理論的に求められている。

しかしながら、地山を形成する岩盤は複雑な性質を有しており、とくに地山の成層状態や地質学的分離面などの存在によって、いわゆる異方性体と考えられるものがきわめて多い。

この論文は、岩盤をより一般的に等質の3次元直交異方性弾性体と仮定し、この岩盤内の弾性主軸に対して任意の角度をなす円形またはだ円形坑道を開削した場合に、任意方向の3つの独立な地山初期応力の作用に対して坑道周辺に生じる応力および変形状態を理論的に求めたものである。この一般解を求めるに際して設けた仮定はつぎのようである。

- (a) 岩盤は等質の3次元異方性弾性体である。
- (b) 坑道の断面は円ないしだ円形状である。
- (c) 坑道軸方向に対して応力は変化しない。
- (d) 物体力(body force)は無視する。

これらの仮定をもとにして求めた一般解を導き、つぎに二、三の例をとりあげ数値計算を行なった結果を示した。

(1969.7.4・受付)

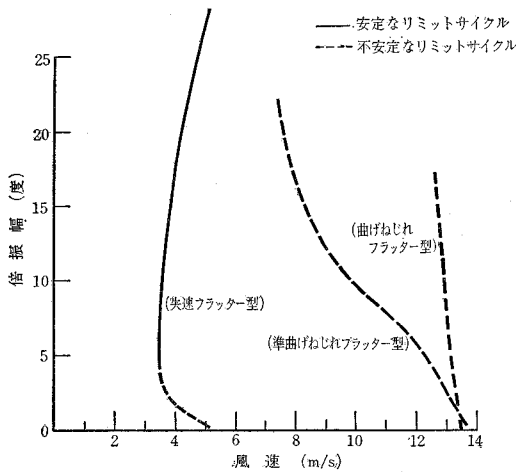
丹羽：正会員	工博	京都大学教授	工学部
小林：正会員	工修	京都大学助教授	工学部
平島：正会員	工修	京都大学助手	工学部

吊橋の風による自励振動に関する一考察

宮田利雄・岡内 功

先に著者らは全橋模型による風洞実験の結果などに基づいて、風圧による過大な横たわみ、横座屈、および自励振動の3現象が吊橋の耐風性を主として支配することを示し、それぞれの現象に関する若干の考察結果を述べたが、これら3現象のうち自励振動現象に関しては、吊橋構造部の断面形状その他の条件によって複雑な性状が見られるため確固とした結論を示すまでには至らなかった。これに対し、本研究は、その自励振動の一般的特性をより明らかにする目的をもって、風洞実験による観察を進めるとともに、いわゆる準定常理論を適用して理論的解析を試みたものである。

図一 各種の自励振動におけるリミットサイクルの状態



風洞実験においては、単に自励振動の発振風速や振動数ばかりでなく、振動発生後の状態、すなわち発振後の振幅の変化状態あるいはその状態と発振風速との関連性などについても着目し観察した結果、吊橋の風による自励振動は3つの特徴ある種類に分類することができることを見いだした。これらは、(a) 曲げねじれフラッター型、(b) 失速フラッター型、(c) 準曲げねじれフラッター型の3種類であるが、従来は(a)と(b)の名称で2種類に分けていたのに対して、その中間的性質を示す振

動を新たに分離し、(c)としたものである。それぞれの分類の特徴を示す典型的実験結果を図一に示すが、この図に見られるような応答の相違に基づいて上記の3分類を行なったのである。ここで、点線で示したものは不安定なりミットサイクルであって、この線上の風速と振幅を境界として振動は発散または減衰している。そして、準曲げねじれフラッター型自励振動の場合には、この不安定なりミットサイクルの振幅が風速によってかなり変化するのに対して、曲げねじれフラッター型の場合には風速に対して急な立ち上りを示す点が両者の大きな相違点である。一方、実線で安定なりミットサイクルを表わしているが、このときには線上の風速と振幅で定常振動が観察されており、このような状態の現われる点が失速フラッター型自励振動の一つの特徴となっている。

以上のように分類される吊橋の自励振動のうち、曲げねじれフラッター型については、Theodorsenによる平板空気力を適用することにより現象をよく説明できることが知られているが、他の2種の場合に対して著者らは準定常理論により解析を行なった。すなわち、振動中の吊橋構造部に作用するある瞬間の空気力を、その瞬間に吹く風が吊橋構造部に対してもつ相対迎角および相対風速と同じ迎角および風速の定常風によっておよぼされる定常的(静的)空気力と等しいとおき、この空気力を適用して理論的に問題を検討したのである。失速フラッター型の場合はねじれ1自由度振動として、準曲げねじれフラッター型の場合は曲げとねじれの2自由度連成振動として取り扱い、それぞれの振動を発生する風速やそのさいの振動数あるいは振幅などを与える式を非線形振動理論を利用して求めた。さらに、これらの式によって風洞実験で観測された諸数値を検討したが、その結果、上記準定常理論の適用は、その有効範囲は限定されるが、風洞実験結果を解釈するのにかなり役立つことが認められた。

以上の考察によって、吊橋に生ずる複雑で多様な自励振動の特性を一応包括的かつ系統的に把握することができたが、とくに、定常空気力の測定結果から自励振動に対する安定性をおおむね判断できる条件を導いたことは、その定常空気力の測定が比較的簡単であるだけに、吊橋構造部の断面選定などを容易にすることであろうと思われる。また、失速フラッター型および準曲げねじれフラッター型自励振動の発振風速が振幅によって変化する事実を指摘したが、この点は風洞実験の実施あるいはその結果の評価などに関して多くの示唆を与えるものとして考えられる。

(1969.7.26・受付)

宮田：正会員	工博	東京大学助手	工学部
岡内：正会員	工博	中央大学教授	理工学部

乱流境界層内の拡散に関する考察

一オイラー相関とラグランジュ相関の関係 について一

庄司 光・山本剛夫・石川義紀

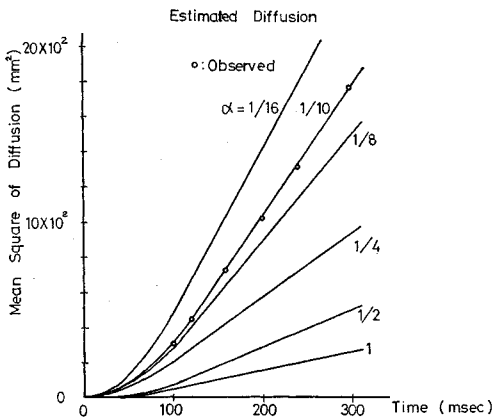
G.I.Taylor の式によって簡単に拡散の自乗平均値が表わされている。すなわち、

$$\bar{Y}^2 = 2 \bar{v}^2 \int_0^T \int_0^t R(\xi) d\xi dt$$

であり、 $R(\xi)$ は粒子速度のつくるラグランジュ相関である。しかし、この $R(\xi)$ はほとんど測定が不可能であり、これに比して、オイラー相関は比較的容易に求められる。そこで、オイラー相関からラグランジュ相関への変換ができれば、Taylor の式によって拡散を簡単に記述し得ることになる。

Lumely らは粒子が時間軸と空間軸から形成される格子点の上を移動すると考え、粒子の変位は粒子の通過する時間-空間の格子点から発せられる統計的に規定された指令により支配されるとし、オイラー相関とラグランジュ相関の関係を簡単な場合について導いている。

図-1



Lumely らの考え方を拡張して、時間-空間の格子点によって発せられる指令についての遷移確率をつぎのように定める。

P_i : 空間内のある点において速度が v_i である確率

$P_{ij}^{(n)}$: ある格子点において、速度が v_i であって、空間的に n ステップはなれた格子点での速度が v_j である確率

Q_i : ある時刻において速度が v_i である確率

$Q_{ij}^{(n)}$: ある格子点において速度が v_i であって、時間的に n ステップだけはなれた点での速度が v_j

である確率

このとき、オイラー相関 $R(r, \tau)$ とラグランジュ相関 $R(\xi)$ の間には

$$R(n) = R(n \Delta r_E, n \Delta t_E)$$

の関係が成り立つ。ただし、 $r = n \Delta r_E$, $\tau = n \Delta t_E$, $\xi = n \Delta t_L$ であり、 n はステップ数、 Δr_E , Δt_E , Δt_L はそれぞれオイラー場における 1 空間ステップの間隔と 1 時間ステップの間隔およびラグランジュ場における 1 時間ステップの間隔である。ここで $\Delta t_L = \alpha \Delta t_E$ の関係を仮定している。

Δr_E は空間的な 1 ステップの長さであり、ランダム変数と考え、 Δr_E について得られたラグランジュ相関を平均して、Taylor の式に用いるべきラグランジュ相関を得る。すなわち、

$$R(n) = \int_{-\infty}^{+\infty} R(n \alpha \Delta t_E, n \Delta r_E) e(\Delta r_E) d \Delta r_E$$

によりラグランジュの自己相関が求められる。

以上の関係を風洞内の拡散実験により検討した。砂粒を敷きつめた平板の上に形成される乱流境界層の中で、エタンガスをトレーサーとして拡散させた。そして、水平方向の成分の乱流風速についてのオイラー相関を測定して、上述の関係によりラグランジュ相関を推定し、Taylor の式により拡散の自乗平均値を推定した。さらに、水平方向の拡散状況を測定し、上述の関係を検討した図-1 に示すような結果を得た。すなわち、実線は種々の α に対する推定の拡散自乗平均値、○印は実測結果であり、 $\alpha = 1/10$ において推定値と実測値はきわめてよく一致した。

(1969.8.1・受付)

庄司：正会員 医博 関西大学教授 工学部
山本：正会員 医博 京都大学教授 工学部
石川：正会員 大阪府公害監視センター

平面ひずみ状態と軸対称ひずみ状態 における乾燥砂のせん断特性

市原松平・松沢 宏

平面ひずみ状態における砂の内部摩擦角は軸対称ひずみ状態における砂の内部摩擦角よりも、密な砂において 10% 程度大きく、ゆるい砂では顕著な差はないといわれている。このために、壁体に作用する土圧のような二次元変形問題を解明させるためには平面ひずみ状態のもとにおける砂のせん断強度ならびにせん断特性を明白にさせることが要求される。そこで、筆者らはイギリスのインペリアル大学の試験機を参考にして、より合理的に設計された平面ひずみ三軸圧縮試験機を試作し、信頼できる計測が行なえるまで載荷機構ならびに計測機構に幾多

の改良を重ねてきた。

本文は、この平面ひずみ三軸圧縮試験機を用いて種々の初期間げき比を有する気乾の豊浦標準砂の試料に対して行った試験結果をノルウェー製の三軸試験機による普通の三軸圧縮試験結果と比較しながら、砂のせん断特性についてのべたものである。

平面ひずみ状態と軸対称状態における砂のせん断特性を定性的に比較すれば、両者にはかなり共通した点が認められる。しかしながら、この特性を量的に比較すると、両変形状態において、かなり異なった性質がうかがわれる。この量的な特性の差は砂の試料の変形の拘束条件の差異と、それに基づくせん断領域の試料全域に対する割合の差によるものと考えられる。

上述したせん断特性の差のうちとくに注目すべきことは、普通の三軸圧縮試験結果をもとにして、同一液圧、同一初期間げき比の平面ひずみ状態の砂の破壊時の軸ひずみならびに内部摩擦角を推定するためにきわめて好都合な対応関係をみいだした点である。

すなわち、

$$\epsilon_{1-f-P} = 0.9 \cdot \epsilon_{1-f-T} - 0.45 (\%)$$

$$\phi_{f-P} = 1.27 \cdot \phi_{f-T} - 8.13 (\text{度})$$

ここに、 ϵ_{1-f-P} は平面ひずみ状態における砂の破壊時の軸ひずみ、 ϵ_{1-f-T} は軸対称ひずみ状態における砂の破壊時の軸ひずみ、 ϕ_{f-P} は平面ひずみ状態における砂の内部摩擦角、 ϕ_{f-T} は軸対称のもとの砂の内部摩擦角である。

また、砂のせん断抵抗はダイレイタンスを伴わないすべり抵抗とダイレイタンス抵抗に明確に分離され、前者は砂の間げき比には関係なく、試料の変形の拘束条件と液圧によって定まり、砂の間げき比によるせん断強度の差は後者によるものであることを実証した。上述のように、せん断抵抗を2つの成分に分離することにより、変形の拘束条件はすべり抵抗とダイレイタンス抵抗のそれぞれに影響を与えるが、ゆるい砂では両抵抗に対する影響が相殺されてしまうために、せん断強度としては影響がないようにみられるという特筆すべきことがわかった。

さらに、平面ひずみ状態の砂がダイレイタンスを開始してから破壊するまでに要する試料の変形量は密な砂の方がゆるい砂よりも大きく、これは液圧加圧終了時を原点とする場合の破壊に要する変形量が密な砂の方がゆるい砂よりも小さいことと相反する傾向にあるという注目すべきことを発見した。

(1969.7.31・受付)

市原：正会員 工博 名古屋大学教授 工学部
松沢：学会員 工修 名古屋大大学院工学研究科

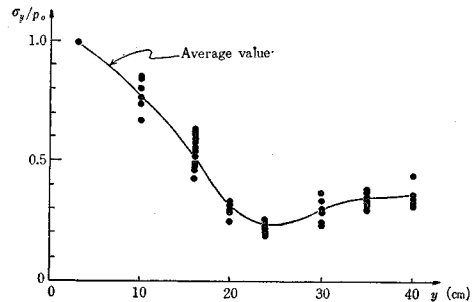
地盤と構造物との動的相互作用に 関する基礎的研究 (英文)

赤井浩一・堀 正幸

カルバートなどの地下構造物や一般構造物の基礎体を含む地盤に地震波や種々の衝撃波が伝搬するとき、これらとその周辺地盤との間に密接な相互作用が起こる。この現象を十分把握することは、地下構造物または構造物基礎体の合理的設計や周辺地盤の破壊を論ずる上に重要である。そこでこの種の問題の基礎的研究として、構造物モデルに剛性の異なる2種のシリンダーを用意し、それらを粘性土に埋め込んで縦衝撃波を与えることによって、両者間の動的相互作用を実験的に考察し、かつ波動論による解との比較を試みた。

実験は径 15 cm、長さ約 50 cm の円柱状粘土供試体を鉛直に立て、地下構造物のモデルとして直径 6 cm の金属製シリンダーを供試体上端から 20 cm の位置に水平に埋め込む。理論解析は剛性シリンダーについてのみ行なったが、たわみ性シリンダーに対する実験では、シリンダー自身の動的変形を調べるために抵抗線ひずみ計を頂部と側面に、またシリンダー全体の移動を測定するために加速度計を内部に装置した。落錘によってシリンダー周辺の粘性土に生ずるパルス応力をシリンダー表面から 1 cm 離して埋め込んだ超小型圧力計によってピックアップし、増幅器を通して電磁オシロ グラフに記録させた。

図-1 伝搬距離によるピーク応力の減衰



シリンダーを含まない供試体による縦衝撃波動的伝搬実験の結果の一例が図-1に示されており、粘土供試体内のピーク応力の減衰特性を知ることができる。剛性シリンダーを含む粘土供試体の周辺で得られる半径方向応力の波形は、この図からもわかるように入射波と反射波が重複して構成されていることが予測されるが、この実験のような側方拘束のない供試体の場合は、伝搬距離による応力減衰をも考慮して入射半径応力は次式で示され

る。

$$\sigma_r^{(i)} = \sigma_y \cos^2 \theta \dots\dots\dots (1)$$

ここに θ はシリンダーの底部から測った角であり、 σ_y は各圧力計の位置における鉛直方向の応力である。

図-2 シリンダー周辺粘性土内の半径方向応力の分布

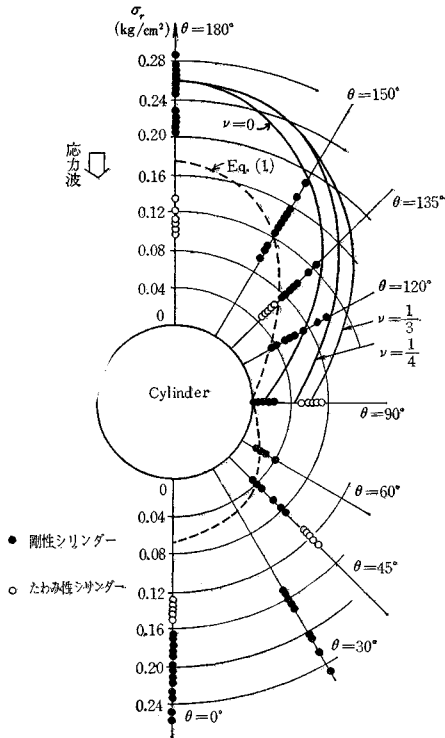


図-3 模型実験に対する Mohr の τ - σ 面

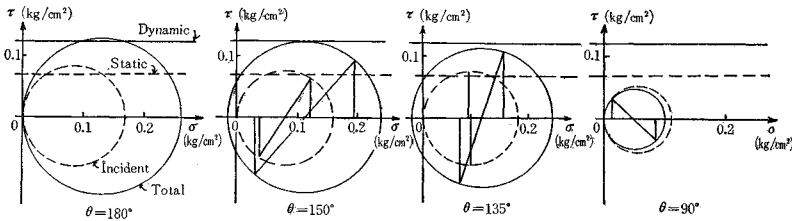


図-2 はシリンダーを供試体に埋め込んで、その周辺粘性土に生ずる半径方向応力を実験によって得たものである。この図からシリンダーの水平直径に関して、その

上下で発生する応力の性質が全く異なることが容易に理解できる。すなわち上方の土は直接応力波を受けるが、下方の土は応力波の進行にあたってシリンダーの陰となり直接応力波はうけられないけれども、シリンダーと粘土との剛性の相違によって受動的な応力をうける。実験結果ではシリンダーの下方の土も大きい応力をうけており、剛性シリンダーの場合半径方向応力の分布形は縦方向に細長く、かつ水平直径に関して上下対称的となっている。この場合、粘土供試体のポアソン比 $\nu=0$ という側方拘束なしの条件のもとでは、実験値と計算値との間にかなりの一致がみられる。一方たわみ性シリンダーでは、その頂部は応力波をうけて内側に変形し、そのためこの付近の粘土内にアーチングが生じて応力が減少する。実験結果では本来の入射応力よりも小さい応力しかうけていない。またシリンダー側面は外側に変形して、その付近の土に反力が生じ、剛性シリンダーの場合にくらべてかなり大きい応力をうけていることがわかる。

シリンダー自身の動的変形は周辺土中の応力と同調して挙動し、両者が密接な相互関係にあるのに対し、シリンダー全体の変位は非常に遅れてピークに達しており、土中応力との間に顕著な時間遅れが認められた。

最後に剛性シリンダー周辺の粘性土が応力波伝搬時を示す応力状態を Mohr の応力円で示すと 図-3 のようになる。実線の円はシリンダーを含む場合の合計応力(入射応力+反射応力)が描いたものであり、破線の円は入射応力のみによるものである。 $\theta=150^\circ \sim 180^\circ$ に対する応力円はすでに動的な破壊線に接しており、この部分

の粘土は衝撃応力によって塑性状態に近づいているものと考えられる。これに対して応力波を直接うけるシリンダー上半でも、 $\theta=90^\circ \sim 135^\circ$ の部分では降伏に対する余裕は十分保持されていることが知られる。

(1969.6.17・受付)

[赤井：正会員 工博 京都大学教授 交通土木工学科]
[堀：学生員 京都大学大学院学生]

論文報告集への討議について

1. 討議は論文報告集掲載全論文を対象とします。
2. 討議の受付は論文報告集掲載後6ヵ月以内とします。
3. 討議原稿を提出するときは学会原稿用紙に必要事項を記入のうえ論文集編集委員会へてご提出下さい。
4. 討議原稿の取扱いは論文編集委員会にご一任下さい。
5. 討議に関する問い合わせは論文編集委員会へご連絡下さい。