

# 論 文 紹 介

今月は論文集第133号(41年9月発行) 登載論文としてつぎの4編を紹介いたします。今月紹介した論文に対する討議は42年3月20日まで受け付けます。次号では第134号(41年10月発行) 登載予定論文として下記の4編を紹介いたします。

山崎徳也・太田俊昭・石川信隆: 補正エネルギー法による直線材構造物の弾塑性解析

佐武正雄: 変形の表現について

合田 健・末石富太郎・住友 恒: 工業用水計画における水量・水質配分について

小松定夫・大山 峰: 主桁のねじり剛性を考慮した任意の形状の格子桁の解法

## 二層粘弾性地盤内の応力とその舗装体への適用法

石 原 研 而

道路の舗装体を二層の弾性半無限体であると仮定して、その挙動を静力学的見地から研究する試みは Burmister や L. Fox ら多くの人によってなされてきた。しかし、最近さかんに用いられるようになったアスファルト コンクリート舗装では、少なくとも表層は弾性的というよりも粘弾性的性質を顕著に表わすので、厳密にいうと粘弾性的な立場から問題を処理した方が実状にそっているように思える。また最近の高速道路の舗装体は、多くの場合、静的というより動的な外力を受けるので、この意味でも従来の考え方を訂正することが望まれる。最近行なわれた大規模な実験の結果をみても、静的圧力が加わった時の舗装体の挙動が動的な場合と異なることが立証されている。つまり、舗装の表面沈下や路盤内の応力を自動車の速度をいろいろ変えて測ってみると、ほとんどの場合、速度の増加にともなって沈下や応力が減少することがわかるのである。このことを見るために、最近行なわれた実験とその結果を一覧表にしてみると表-1 のようになる。この表から時速 30~40 mile per hour で自動車が行っている場合に舗装体に生ずる沈下やひずみは時速 2mph (creep speed と呼んでいる) の走行荷重によって生ずる沈下やひずみにくらべて60~90% の order に減少してきていることがわかる。このことは、動的荷重を受ける舗装体の挙動が静的な場合にくらべてかなり異なっていることを示すものであり、舗装体の力学的挙動を調べるに当たって、動的要素を考慮することの必要性が痛感されるのである。動的要素として考えられるのは、慣性力と粘性力の影響である。J. Cole と J. Huth は、半無限弾性体が走行荷重を受ける場合の解析を行なっているが、その結果によると、慣性

表-1 走行速度によって舗装体の挙動が変わることを実測した実験計画の一覧表

実験計画の名称	舗装の種類	測定項目	測定器	速度効果
Road Test 1-MD (1949~1952)	コンクリート舗装	コンクリート内のひずみ	ストレインゲージ	$\frac{e_{40mph}}{e_{cs}} = 70$ ~90%
Road Research Laboratory (英国)	アスファルト舗装	路床内の応力表面沈下		$\frac{v_{30mph}}{v_{cs}} = 60\%$
AASHO Road Test (1958~1961)	コンクリート舗装, アスファルト舗装	表面沈下	差動変位計	$\frac{v_{40mph}}{v_{cs}} = 10$ ~80%
WASSHO Road Test (1953~1954)	アスファルト舗装	表面沈下	差動変位計	$\frac{v_{35mph}}{v_{cs}} = 70$ ~85%

ただし:  $e_{cs}$ : 2mph におけるひずみ,  $v_{cs}$ : 2mph における表面沈下  
 $v_{40mph}$ : 40mph における表面沈下, その他もこれに類する。

力は、走行速度が増した時、変位や応力を増加させるような効果をもつことである。これは実測結果と正反対の傾向であって、少なくとも舗装体のような構造物の挙動に、弾性力と慣性力のみを考えた理論を適用することは実状にそぐわない点があることを示している。つきに粘性力の効果であるが、アスファルトのような強い粘性材料では、変形の加速度に比例した力より、変形の数値に關係した粘性力の方がよほど大きいものと想像される。そこで慣性力を無視して、弾性力と粘性力のみを加味した、いわゆる粘弾性の理論を用いて、舗装体の動的実測結果を吟味してみると、傾向的によく合致することがわかった。実際、AASHO 道路試験結果の一部を粘弾性二層理論を用いてチェックしてみると、理屈と実測値がかなりよく一致することが示される。現状では、この照合にもかなりの仮定が含まれていて確実な結論は出せないが、傾向的には正しいように思える。このような照合をどのような過程をえて、どのような考えのものに行なうかについてのべたのが論文の内容である。そのため、重複する所もあるが、著者が以前に発表した2つの論文を短縮してわかりやすく説明し、必要な数値計算の結果をつけ加えた。そして、これらの結果をいかに用いて、実測結果と比較すべきであるかを簡単にのべた。実測結果と理論を数値的に比較するには、なおかなりの紙数が必要なので、これは別の機会にゆずることにして本論文では割愛してある。 (1966.2.3・受付)

[筆者: 正会員 東京大学助教授 工学部]

## 高速の水噴流による岩石の破壊

山門憲雄・横田 章

高速の水噴流による岩石の破壊についての研究は、まだきわめて少ない。しかしながら、それによって岩石の

処理ができるようになれば、さく孔、溝切り、切崩しなどその適用の可能性はかなりあるものと思われる。そこでこれまでの主な研究を概観したのち、ノズル出口動圧が  $700 \text{ kg/cm}^2$ 、ノズル口径  $0.225 \text{ cm}$  までの水噴流による各種岩石の破壊および岩石にすかし溝を掘る実験と考察を行なった。使供せる岩石は、主として砂岩で、そのほか、頁岩、石灰岩、安山岩、かこう岩などもそれぞれ数種ずつ用いた。平面状の岩石面に水噴流を垂直に衝突させ、その動圧を大きくしてゆく。はじめ動圧が低いあいだは衝突面の岩石に何らの形状変化も起こらない。しかし動圧が大きくなるにつれて衝突面は潰食凹みとなり、それが徐々に進行して行く。衝突の動圧が、ある限界値を越えた瞬間に岩石は突然急速に進行する破壊現象を示し、さく孔される。この動圧の限界値を水噴流による岩石の必要破壊圧力  $P_e$  と呼ぶことにする。この  $P_e$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) を直接実験的に求め、他方、各岩石試料について ИГД·АН 法による Протодряконов 係数  $\phi$  を測定した。その結果は 図-1 のとおりであって  $P_e$  と  $\phi$  の間には比較的よい比例関係が認められ、実験式として

$$P_e = 100\phi \text{ [kg/cm}^2\text{]} \dots\dots\dots(1)$$

をうる。ただし、砂岩の場合はモード径による補正を必要とし、また、ある種の頁岩や粘板岩など組織がきわめて緻密な岩には適用できない。

つぎに平面状の岩石試料面に高速の水噴流を垂直に衝突させつつ岩石面を噴流軸に直角方向（水平）に等速直線運動させて、岩石にすかし溝を作って行く実験を行なった。試料面を水噴流が1回横切ってすかし溝を掘ることを「1回の送り動作」と呼ぶことにする。このようにしてすかし溝を掘る実験条件を規定する変数は、ノズル出口動圧  $H_0$  ( $\text{kg/cm}^2$ )、ノズル出口径  $d$  ( $\text{cm}$ )、ノズル出口から岩石面までの距離  $L$  ( $\text{cm}$ )、岩石の送り速さ  $v$  ( $\text{cm/sec}$ ) および  $P_e$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) である。これらの変数によって1回の送り動作によってすかし溝の平均深さ  $\bar{l}_1$  が決定される。 $\bar{l}_1$  に対するこれら各変数の関係を求める実験を行なった結果つぎの実験式をえた (図-2)。

$$\bar{l}_1 = \frac{150 d^2}{L^{0.2}} \left(\frac{1}{v}\right)^{0.4} \left(\frac{H_0 - 100\phi}{100\phi}\right) \text{ [cm]} \dots\dots(2)$$

ただし、実験の範囲はつぎのとおりである。

$$200 \leq H_0 \leq 700, 0.154 \leq d \leq 0.225, 5 \leq L \leq 100$$

$$3 \leq v \leq 30, 1 \leq \phi \leq 7$$

つぎに、同一の岩石について、 $H_0$ 、 $d$ 、 $L$  および  $v$  をパラメーターとして一定とし、同一のすかし溝を  $N$  回送り動作を行なった場合のすかし溝の平均深さを  $\bar{l}_N$  ( $\text{cm}$ ) とすると、 $\bar{l}_N$  と  $N$  との関係としてつぎの実験式をえる。

$$\bar{l}_N = \bar{l}_1 \cdot N^{0.8} \text{ [cm]} \dots\dots\dots(3)$$

ただし、実験の範囲は  $\bar{l}_N < 30 \text{ cm}$  で、各パラメーター

については上記のとおりである。

同一の岩石でかつ  $H_0$ 、 $d$ 、 $L$  がパラメーターとして一定の場合、遅い送り速さ  $v_a$  で1回の送り動作によって岩石面上の単位長さに対してすかし溝の平均深さ  $\bar{l}_{1,a}$  を掘る際に消費した水噴流のエネルギー  $E_{1,a}$  と、すかし溝の同じ平均深さをうるために速い送り速さ  $v_b$  で  $N$  回の送り動作を行なう際に消費した水噴流のエネルギー  $E_{N,b}$  との関係として、式 (2)、(3) から次式をうる。

$$\frac{E_{1,a}}{E_{N,b}} = \sqrt{\frac{v_b}{v_a}} = N \dots\dots\dots(4)$$

したがって、ノズルの送り速さを速くし同一のすかし溝について何回も送り動作を行なって溝を掘る方が遅い送り速さで1回に同一深さのすかし溝を掘るよりも水動力は少ない。

消費水量については、岩石面上の単位の長さについて

図-1  $P_e$  と  $\phi$  との関係

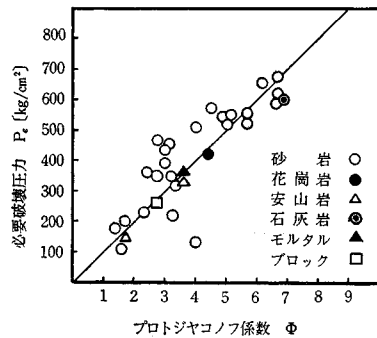
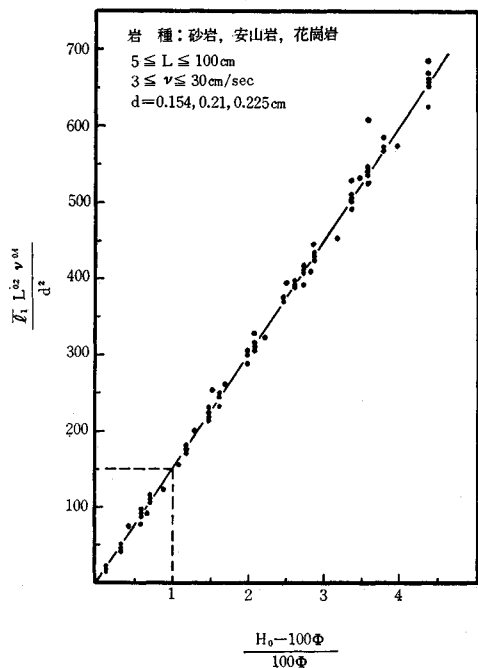
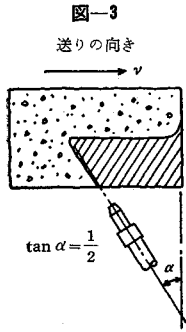


図-2



$N$  回の送り動作を行なう際の消費水量を  $V_N$  [liter] と  
 としてそのときのすかし溝の平均深さを  $l_N$  とすると、



$$\frac{V_N}{l_N} = \left( \frac{L^{0.2}}{136} \right) \cdot \left( \frac{100 \phi \sqrt{H_0}}{H_0 - 100 \phi} \right) \frac{N^{0.2}}{v^{0.6}}$$

[ liter / cm. traverse of 1 cm. ] ... (6)

すなわち、ノズル出口動圧が大きいほど単位深さのすかし溝を掘るに要する水量は少なくなる。

以上まではすべて水噴流軸と岩面とが垂直の場合であったが、傾斜衝突の場合は図-3 のように掘ると垂直衝突のときよりも、えられる平均深さが数%大となる。

(1966.3.7・受付)

[山門：正会員 通産省資源技術試験所  
 横田：正会員 通産省九州工業技術試験所]

## せん断力を受ける舗装の応力について

木村 孟

二層地盤に関する研究は古くから多くの人々によって行なわれているが、それらのほとんどが表面に垂直力が働いた場合の研究であり、表面にせん断力が働く場合について解析を試みたものは数少ないようである。

牟岐教授は、表面に一樣な一方向せん断力を受ける均一な弾性地盤内の応力および変位成分の表示式を求め、表面に働いたせん断応力がどのように地盤内に分散するかを数値的に検討した。

Barber は、舗装の表面には、垂直力の分力として一方向に働くせん断力のほかに、空気圧によって大きなプレストレスを受けているタイヤが圧縮されることによって載荷面の中心に向うせん断力が働くことを示し、これらの力は舗装表面に働く垂直力とほぼ同じ大きさになることもまればないと述べている。また彼はこれらの力が垂直力と同時に働くと、垂直力だけが働いた場合よりもかなり大きな応力が舗装内に生ずることを明らかにした。

上にあげた例はいずれも均一な地盤についての研究であり、二層系以上の多層構造として取り扱った例はほとんど見当たらないので、一応厳密な解析を行なって基本的知識をととのえておくことの必要性が認められよう。

本論文では、道路の構造を理想化し、路盤以下の層といわゆる舗装とがその境界面が完全に粗となるように組み合わせられたものと考え、この表面に一樣な一方向せん断力が働いた場合にその力が舗装および地盤内でどのように分布するかを数値計算によって明らかにした。

さらに、表面に垂直力が働いた場合とせん断力が働い

た場合とについて、載荷面の中心軸上で最大せん断応力を数値的に求め、両者における分布形状の差異を調べ、またこれらと均一地盤における応力とを比較検討した。

その結果、表面に働くせん断力によるせん断応力の舗装および地盤内における分散形状に関してはつぎのような結論を得た。

(1) 垂直荷重が働いた場合の垂直応力の分散形状と異なり、せん断荷重によるせん断応力は深さ方向へあまり分散せず、むしろ表面に近いところで著しく横方向に分散している。

(2) 均一な層の場合とくらべると二層の場合には、はなはだしく上層へ応力集中を起こしており、それが弾性係数比  $E_1/E_2$  によって大きく影響を受けることは垂直力が働いた場合に Burmister が報告した結果と同じであるが、応力集中の程度は垂直力が働いた場合よりも著しいようである。

また最大せん断応力に関しては、つぎのごとき結論を得た。

(1) せん断荷重の場合には、最大せん断応力は弾性係数比  $E_1/E_2$  の値のいかんにかかわらず上層に集中し、ことに  $E_1/E_2$  が大きくなると下層にはほとんど応力が働かなくなる。垂直荷重の場合には、最大せん断応力の集中の度合は  $E_1/E_2$  の値によってははなはだしく影響を受けるようである。

(2) 竹下教授は、アスファルト舗装厚の決定法の一つとして、均一弾性地盤の表面に垂直応力  $P_0$  が働いた場合の中心軸上の最大せん断応力を考え、その最大値の 80% の応力のところまでをアスファルト混合物の層の中に入れ、路盤中には最大応力の 80% 以下しか働かせないような考え方を提唱している。この方法によると舗装厚  $h=1.25a$  ( $a$ : 輪荷重の半径)、路盤中の最大応力  $0.23P_0$  を得る。これを本論文で研究した二層地盤の場合にあてはめてみると、路盤中に働く最大せん断応力はほぼ  $0.15 \sim 0.18P_0$  となり、竹下教授の求めに値よりも少し小さくなっている。したがって舗装厚を  $h=1.25a$  とするのは少し過大であり、 $h=a$  くらいでもよいのではないかと推察される。

(1966.3.26・受付)

[筆者：正会員 東京工業大学助手 土木工学科]

## 単純曲げをうける鉄筋コンクリート桁およびプレストレストコンクリート桁の極限強さ設計法に関する研究

藤田 嘉夫

本論文は単純曲げをうける鉄筋コンクリート (RC) 桁およびプレストレスト コンクリート (PC) 桁の極限強さ設計法に関する実験的および理論的研究について

述べたものである。

塑性理論に基づくRC桁の極限強さ設計法については古くから多くの研究があるが、その大部分は破壊曲げモーメントの算定法に関するものであって、RC桁の耐久性に重要な影響をもつひびわれ安全度を考慮に入れて総合的に論じたものは少ない。しかも、破壊およびひびわれ曲げモーメントを算定するうえに基礎となるコンクリートの圧縮および引張に対する弾性および塑性的性状の諸元については国際的にもまた統一されていない現況である。また、PC桁の場合にはRC桁に比較してひびわれ安全度が高いので有利であるとしても、その極限強さ設計法は原則的にRC桁の場合と同様であるべきである。

本研究は、一般に使用される範囲のコンクリートについて、圧縮および引張をうけるコンクリートの力学的性状、RC桁、PC桁として曲げをうけるコンクリートの圧縮および引張性状ならびに鉄筋、PC鋼材の引張性状を実験的に明らかにし、この結果に基づいたRC桁およびPC桁の破壊曲げモーメントの計算式を提案し、さらにひびわれ発生から破壊に至る桁の性状についても考察を加え、極限強さ設計法に必要な諸資料を得ることを目的として行なったものである。すなわち、3章は圧縮強度  $200\sim 550 \text{ km/cm}^2$  のコンクリートが圧縮または引張をうけた場合の力学的性質、特に圧縮および引張極限ひずみ、4章は2章と同種コンクリートを用いた長方形、T形およびI形のRC桁ならびにPC桁が曲げをつけた場合の曲げ圧縮および曲げ引張極限ひずみ、5章はこれらの結果に基づいたRC桁、PC桁の破壊曲げモーメントの計算式、6章は5章の計算式と実測結果との比較討および各種条件特にRCとPCの区別、使用鋼材の種類などが桁コンクリートのひびわれ発生後のひびわれ進行状況および桁の載荷能力はおよぼす影響など、さらに7章はRC桁およびPC桁の極限強さ設計法に関するも

のである。

実験は都合によってつぎの5回に分けて行なった。

**実験 1** (1954年) : RCおよびPC用として一般に使用される範囲のコンクリートについて、多数の円筒供試体を用いて圧縮試験を行ない、応力・ひずみの関係および圧縮極限ひずみなどを測定した。

**実験 2** (1955年) : スパン 1.5 m, コンクリート強度と鉄筋量を種々変えた長方形RC桁 12本について曲げ試験を行ない、破壊荷重ひびわれ荷重、スパン中央断面のコンクリートおよび鉄筋のひずみ状況、コンクリートの曲げ圧縮および曲げ引張極限ひずみなどを観測するとともに、円筒供試体を用いて**実験 1**の補足および引張試験時のコンクリートの応力、ひずみ関係、引張極限ひずみなどを測定した。

**実験 3** (1956年) : スパン 1.5 m, プレストレス力を2種に変えた長方形およびT形PC桁 6本について曲げ試験を行ない、**実験 2**と同様の測定を行なった。

**実験 4** (1958年) : スパン 3.0 m I形およびT形RC桁 4およびI形PC桁 2本について曲げ試験を行ない、**実験 2**と同様の測定およびひびわれ幅の観測を行なった。また、I型のRC桁およびPC桁のうちそれぞれ1本は切削ねじによるカップラー継手を用いたもの、さらにT形RC桁のうち1本は異形鉄筋を用いたもので、それらが桁の破壊およびひびわれ性状におよぼす影響についても観察を行なった。

**実験 5** (1961年) : スパン 2.4 m, コンクリート強度2種、鉄筋として丸鋼、異形丸鋼およびねじり棒鋼を用いたI形RC桁 6本について曲げ試験を行ない、破壊荷重、ひびわれ荷重、ひびわれ幅、間隔などを観測し、鉄筋の種類が桁の破壊およびひびわれ性状におよぼす影響を調べ、さらにねじり棒鋼を重ね継ぎした桁2本を造り同様の観測を行なった。

(1966.4.9・受付)

[筆者: 正会員 工博 北海道大学教授 工学部]

### 訂 正 表

本誌第 51 巻第 6～7号に誤りがありましたのでつぎのとおり訂正します。

ページ	欄・行	誤	正
6号 55	右・式(1)分母	$(2k_1+1)k_f+(1.5k_1+)k_f$	$(2k_1+1)k_f+(1.5k_1+1)k_f$
" 58	右・図-2 示線下から2 表-2 縦区分欄・横区分欄 BA B/A	$k_f=3.0$  0.47	$k_f=0.3$  0.42
7号 77	右・21 行目	(2) 自記水位計	b) 自記水位計
" 78	左・27 行目	(3) 遠隔水位計	c) 遠隔水位計
" "	右・10 行目	a) 計器の選定と測定上の注意	(2) 計器の選定と測定上の注意