

今月は論文集第128号(41年4月発行) 登載論文としてつぎの4編を紹介し、今月紹介した論文に対する討議は41年10月20日まで受け付けます。次号では第129号(41年5月発行) 登載予定論文として下記の5編を紹介し、

- 西田義親：群杭基礎に生ずる間げき水圧の計算
- 米谷栄二・佐佐木綱・西藤立雄：マルコフ連鎖によるOD交通量の推定
- 畑野 正：水の弾性による地震時動水圧の共振に関する吟味
- 加藤 晃：道路網における交通流配分の解析
- 最上武雄：粒状体の変形について(英文)

低水流出の低減特性に関する研究

高 木 不 折

低水流出の特性は、流量低減部にもっとも顕著に現われる。本研究は、低水流出を地下水流出の問題としてとらえ、流出モデルについての検討を基礎として、その流量低減部の性質を流出機構という観点から検討したものである。

地下水の流出機構とモデル

地下水の流出機構を現象論的に考えると浸出と湧出の2つに分けられるが、この両者は自由水面のある不被圧地下水の流出と被圧地下水の流出であるといえよう。さらに、力学的には、前者は拡散的、後者は圧力伝播的な流動をし、流出の機構を異にするから、地下水流出の低減部に違った効果をおよぼすであろう。本研究では、これらの流出の機構をとらえるのに図-1のような流出のモデルを用いた。

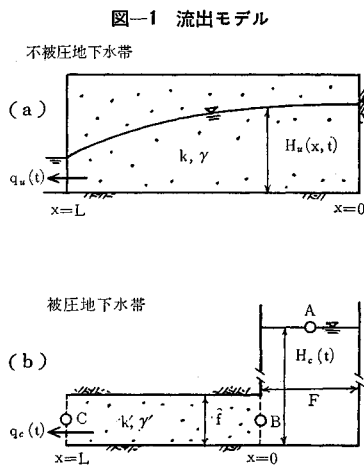


図-1 流出モデル

低減曲線

図-1(b)のモデルでの水の流動に対する基礎方程式を導き、これを解けば、被圧地下水流出流量の低減曲線を表わす式

$$-\frac{Fl}{fk'} \log_e q_c - \frac{F}{f^2 g} \left\{ 1 - \frac{f^2}{F^2} \right\} q_c = t + C$$

が求められる。ここで \$C\$ は初期条件によって定まる定数である。上式の左辺第2項は第1項に比し無視でき、結局被圧成分の低減曲線は、近似的に指数関数

$$q_c = q_{c0} \cdot e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (1)$$

ただし

$$\alpha = fk'/F \cdot l \dots\dots\dots (2)$$

で与えられる。

一方、不被圧成分に対する基礎式は、図-1(a)について近似的に

$$\frac{\partial H_u}{\partial t} = \beta \frac{\partial^2 H_u}{\partial x^2}, \quad \beta = k/\rho \dots\dots\dots (3)$$

となる。これを条件 \$H_u(0,0) = H_0\$ (一定), \$H_u(L,0) = h_0\$ (一定), \$(\partial H_u/\partial x)_{x=0} = 0\$ のもとで解き、若干の演算を行なうと、不被圧成分 \$q_u\$ の低減曲線式がつぎのように求められる。

$$q_u = q_{u0}/\{at+1\}^2 \dots\dots\dots (4)$$

ただし

$$a = \frac{2\beta}{L^2} (H_0 - h_0) \dots\dots\dots (5)$$

式(1),(4)の添字0は初期の値を示すが、これらの両式はモデル単位幅当りのものである。さらに、流域の大きさの要素を導入すると、実際の河川での被圧成分の流量 \$Q_c\$、不被圧成分の流量 \$Q_u\$ の低減曲線が求められ、形式的に式(1),(4)の \$q\$ を \$Q\$ で置きかえればよい。

これらの式からわかるように、\$Q_c\$ は \$Q_u\$ に比してはるかに速やかに低減し、降雨終了後ある程度以上の日数がたつと、河川流量はすべて不被圧分のみから減る。式(4)は分数関数であって、従来の指数関数的低減性のみでは表わせなかった河川流量の長期間にわたる低減状態を精度よく表現することができる。

低減特性

これらの成分の低減の様子を表わす因子は \$\alpha\$ と \$a\$ である。\$\alpha\$ を形造っているのは流域の地形・地質の要素ばかりであって、各流域固有の値となり、低減曲線は初期状態のいかにかわからず1本の曲線となる。解析の一例を図-2に示した。

一方、不被圧成分の低減を示す \$a\$ は、式(5)よりわかるように、地形・地質の要素のほか初期状態にも支配される。流域面積が大きくなると、低減状態が変動してくるが、図-3の由良川荒倉のような小さい山地流域では、やはり初期状態いかにかわからず1本の曲線に沿って流量が減少する。こうした場合には \$a\$ と初期流量との間には \$a = K\sqrt{Q_{u0}}\$ (\$K\$: 定数) の関係があることがわかった。

さらに、流域面積の違い、降雨分布の差異が低減特性

図-2

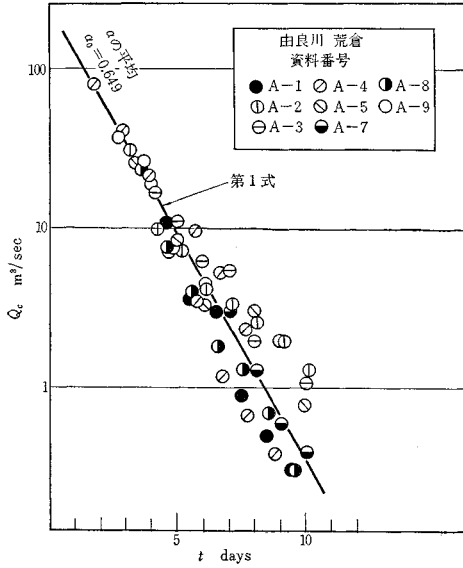
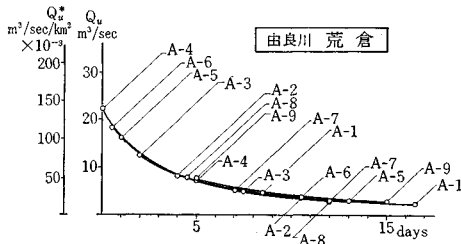


図-3



におよぼす影響について検討した。

あとがき

本研究で用いたモデルは数学上の難点のため種々制約されたので、低減部のもつ物理的意義を十分解明しえたいとはいえないが、2つの成分の特性を考察することによって、長期間の河水のかん養の実態をある程度明らかにすることができた。

(1965.9.9・受付)

[筆者：正会員 工修 京都大学工学部土木工学科]

開水路急拡大部の水理学的性状に関する研究

石原藤次郎・志方俊之

河川や人工水路に設けられる各種の水理構造物には不連続な境界面を有するものが多く、このような急拡大部における遷移流の水理学的特性を明らかにすることは重要な研究課題の一つである。

本研究は、その第一段階として幅が急激に拡大する水路において、開水路流れが示す各種の水理学的特性、す

なわち遷移現象の分類、遷移水面形状、エネルギー損失、流速分布、およびはく離領域について理論的および実験的に考察を加えたものである。流れは、開水路急拡大部よりはく離し、しかもこのはく離領域は流れの水理学的性格にいちじるしい影響を与える。ここでは開水路急拡大部における流れは拘束された流れの場の噴流と類似の現象であると考えて、実験的に得られる流れの挙動より一つのモデルを作り、開水路急拡大部における流れの特性を取り扱った。この結果、水路側壁の拘束効果を示す一つの実験的パラメーター (confine parameter) によって、流速分布やはく離領域の性格が説明されることが明らかとなった。

1. 遷移水面形状

開水路急拡大部における遷移形式は、流量と底勾配とによって、9種類のものが考えられる。また、緩勾配水路における遷移水面形状は下流水深によって常流遷移・射流遷移および不安定遷移とに分類され、実験にもとづく簡単な流れモデルに対する一次元運動量解析によって、常流遷移から不安定遷移および射流遷移から不安定遷移への臨界下流条件はそれぞれ式(1)と式(2)によって与えられる。

$$27 \beta_*^2 F_{r2}^4 - (1 + F_{r2}^2)^3 = 0 \dots\dots\dots (1)$$

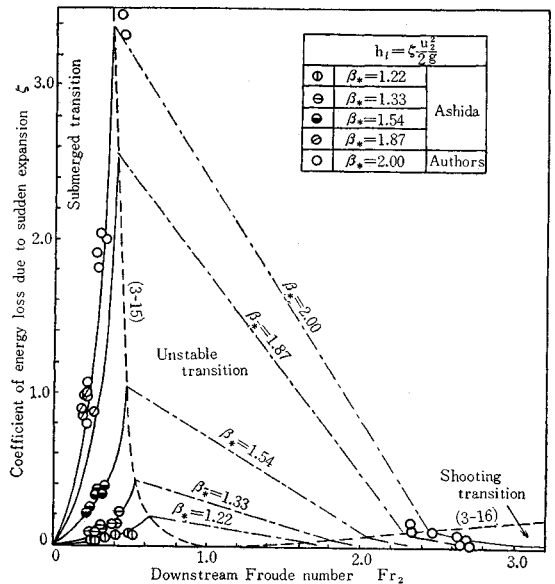
$$27 \beta_*^4 F_{r2}^4 - (1 + 2\beta_* F_{r2}^2)^3 = 0 \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 β_* : 水路幅拡大比, F_{r2} : 下流側 Froude 数である。

2. 形状損失係数

前項と同様な手段を用いて急拡大部における形状損失係

図-1 Coefficient of energy loss due to sudden expansion.



数を求めると式(3) (図-1, 実験) のようになり, 実験値とよく一致する。

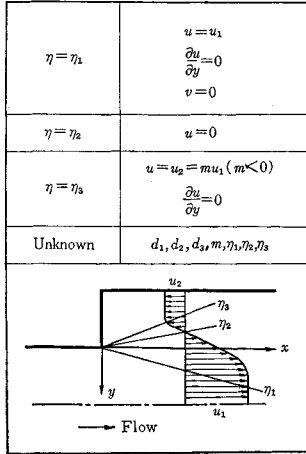
$$\zeta = \frac{\alpha_1 \beta_*^2 F_{r2}^2 \phi^3 - (2 + \alpha_2 F_{r2}^2) \phi + 2}{F_{r2}^2 \phi} \dots \dots \dots (3)$$

ここに, ζ : 形状損失係数, ϕ : 上下流の水深比, α_1 , α_2 : それぞれ上下流のエネルギー補正係数である。

3. 常流遷移流の流速分布

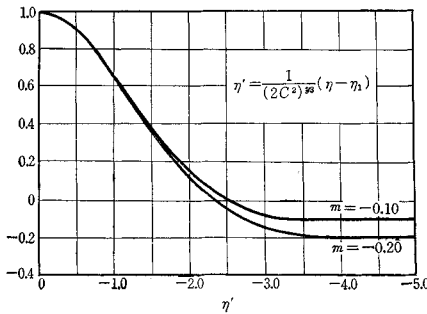
はく離領域内の逆流による影響を考慮するため, 等逆流領域を仮定し, その流れモデルを用いて急拡大部における流速分布の一計算法を示した。図-2, 図-3はそれぞれ解析に用いた境界条件と計算例を示したものである。

図-2 Boundary condition used in the analysis.



ここに, d_1, d_2, d_3 : 積分定数, $\eta: y/x$ である。

図-3 Velocity distribution obtained by the analysis.



4. はく離領域の長さ

水路側壁の噴流拡散への拘束効果を表わす一つの実験的パラメーターとして, 平均的な拘束係数 σ_m を導入すると, はく離領域の平均長 l_s は式(4)で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{l_s}{B_1} &= \frac{1}{2(1-C_2)} \sigma_m (\beta_* - 1), & \left(\beta_* < \frac{1}{C_2} \right) \\ \frac{l_s}{B_1} &= \frac{1}{2} C_2 \sigma_m, & \left(\beta_* = \frac{1}{C_2} \right) \\ \frac{l_s}{B_1} &= \frac{1}{2C_2} \sigma_m \beta_*^2, & \left(\beta_* > \frac{1}{C_2} \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

ここに, C_2 : 定数, B_1 : 上流側水路の幅である。

図-4に示した実験結果から, σ_m は 4.0~6.0 であ

図-4 Relation between l_s/B_1 and β_*

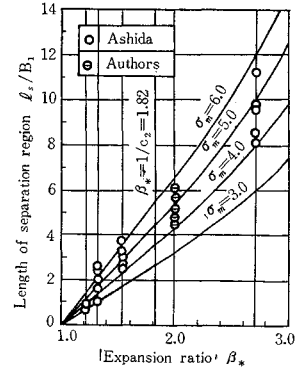
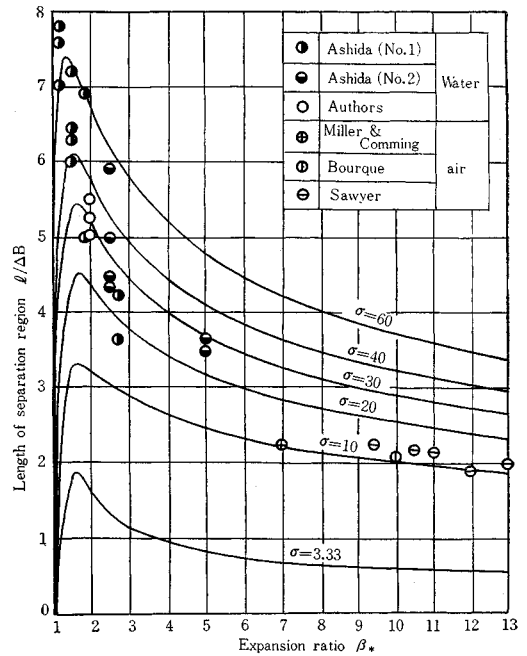


図-5 Relation between $l/\Delta B$ and β_*



ることが明らかにされた。

5. 流れの非対称性

急拡大部に形成されるはく離領域の非対称性は, 逆流による流体補給の初期条件の差に起因するいわゆる Coanda 効果によるものと考え, 実験にもとづく非対称流れのモデルによって, 噴流拡散に対する壁面の拘束効果と流れのわん曲による抑制効果が拘束係数を用いて図-5のように評価された。

(1965.9.13・受付)

〔石原: 正会員 工博 京都大学教授 工学部〕
〔志方: 正会員 工修 京都大学大学院学生〕

長大つり橋の空気力学的安定性に 関する一考察 (英文)

小西一郎・白石成人・宇都宮英彦

長大つり橋の空気力学的安定性に関する F. Bleich の Flutter 理論にもとづき、Flutter 限界風速におよぼす構造的パラメーターについて理論的考察を試みた。まず、理論的には、Flutter 理論はこれまで二次元流を対象としてきたが、つり橋のような長大構造物では風速の水平方向分布があり、これについて簡単な 2,3 の場合に三次元的考察を加え、その影響を検討した。つぎに限界風速とつり橋補剛桁の断面形状、たわみ振動数、ねじれ振動数の関係を、明石海峡連絡つり橋第 1 次案の断面について理論的に解析し、A. Selberg の経験公式との比較を行なった。

(1965.7.12・受付)

| | | | | |
|-----|--------|----|-----------|-----|
| 小西 | : 正会員 | 工博 | 京都大学教授 | 工学部 |
| 白石 | : 正会員 | 工博 | 京都大学助教授 | 工学部 |
| 宇都宮 | : 学生会員 | 工修 | 京都大学大学院学生 | |

粒状体の内部摩擦角と簡単な 適渡現象 (英文)

最上 武雄

粒体の力学を粒の性質を生かして建設することは筆者の 30 年来の念願であったが、怠惰と雑用のため時間を持たなかったのと、問題が非常にむずかしいために長い間無為に過したのであった。なるほど古くから粉体力学なるものはあって、それにもとづいて土質力学が樹立されているが、良く考えて見ると、粉体力学とはいうものの粒子の性質を十分とり入れていない。つまり(いわゆる粉体力学は)連続体の力学の一種であって、ただ崩壊条件として摩擦法則を用いているに過ぎない。ここでいわゆるミクロ的な考察からマクロ的な性質を導き出して、物質の性質の成り立ちを探究しようとするのは物理学において常に採られているところであるが、物理学におけるそれらの手本はわれわれの場合には、そのままでは役に立たない。つまり彼らの対象としている“粒”はわれわれのものよりはるかに小さいし、粒同士の相互関係はわれわれのものよりもゆるい。たとえばガス運動論などで考えている“粒”の性質はわれわれのものよりはるかに簡単である。したがって、粒体の力学は別の途を進まなければならない。粒を理想化して球としてその相互作用を考える方向は多くの人々が試み、沢山の研究が行なわれている。

しかし、この場合には球の堆積の仕方を規定しなければ議論が進められない不便があり、同じ大きさでない球の堆積を考えたり、不規則な堆積を考えることは複雑に過ぎて全く手に負えない。

筆者は 20 数年前に砂のせん断や砂の運動について少し実験を行なったことがあった。当時多少の希望は持っていたが、まだ対象の把握がしっかりしていなかったので失敗に終わった。14, 5 年前にやや明らかな意図の下に統計的に粒子の力学を建設することを試みたが、数学的な困難を克服できなかったことと、実験的基礎が乏しかったためこれも失敗に終わったのである。

数年前から、鋼球を用いて粒体の力学的性質に関する実験を試み、土木学会の講演会で結果を報告してきた。

この実験は簡単なものではあったが、筆者に粒体の特性について教えるところは大きかった。粒体の力学において非常に大切なものは、間げき比、間げき比の分布であるという直観的考えは古くから持っていたが、これを証明することは長い間できなかった。そのようにして日を送っているうち、ある日突然問題解決の緒が見え、作り上げたのが前論文である (Soil and Foundation, Vol. V, No. 2, March 1965)。この中で内部摩擦角を ϕ 、間げき比を e 、 k をある種の係数とすると、

$$\sin \phi = \frac{k}{1+e}$$

という式が求められた。この論文に対して Winterkorn 教授、Kerisel 教授から激励の手紙をもらったが、彼らからももらった資料によって上の式を検証してみると、ひい目に見ればまあまあである(つまり理論と実験結果との開きが 3~4% 程度以内)という結果になった。三軸試験の結果についてはまあまあであるが、直接せん断の結果についてはどうもすっきりしなかった。そんな状態の時にモントリオールの会議に出かけ、ラバール大学の講習会にも出た。

貧しい語学力で十分にはわからなかったが、ケンブリッジ学派の粒体の崩壊論を開いている間に、上掲の式は plane stress の状態についての式であることに気がついた。そこで Hotel で三軸試験、plane strain の状態に関する式を作り、あり合せの資料で検証してみると大分都合が良さそうなのがわかった。そこで帰国後やり直したのが、この論文の前半である。これでは内部摩擦角と間げき比との関係が主題である。これは割合に良い結果を得たが、そうだとすると、この理論で示される応力と変形との関係についても多少の希望が湧いて来る。この検証は将来のものであるが、現在土質力学で変形の問題についてはほとんどはっきりしたことがわかっていないのだから、何かの役に立つかも知れない。このような考え方について考察を巡らしていた間中、筆者はこの種の抽象的な議論は何の役に立つだろうか。理学ならとに

かく工学として考えてどうであろうかと何度迷ったかわからない。したがって研究室の若い人達にはいっさい手伝わってもらわなかったのであるが、いま述べたような状態になると、実際問題との関連にも希望が持てそうになって来たのである。

一方粒体の力学で非常に大切なものの一つに、過渡現象の問題がある。たとえばいわゆる progressive failure などである。これが解決しないと実験室の研究と実際問題との相関が本当にはしっくりしない。

この論文の前半は崩壊時の力学であるが、後半は崩壊に至る過渡期の力学であってごく簡単な場合についての研究結果である。実験についてはすでに土木学会の講演会で述べたことであるが、この解釈について筆者の一般論を応用して見て、まずまずの結果を得たというのがこの報告の後半である。もちろん、これは簡単な場合であるから、解決すべき事柄は未解決のまま沢山残っている。しかし、筆者の一般論で説明できるものがあつたということで、勇気を与えられるものである。

さて本論文の結論を要約するとつぎのごとくである。

(i) 粒状体の力学においては、間げき比、間げき比の分布が重要である。

(ii) 粒状体のある状態の確率の対数は熱力学におけるエントロピー的な量であり、それは間げき比、間げき比分布で表わせる。粒状体が崩壊に近くなると、間げき比分布はいばいいに近づくという実験の事実があるが、このことから、plane stress, axial symmetric, plane strain の場合について、崩壊時における応力とひずみとの関係、内部摩擦角と間げき比との関係が求められる。内部摩擦角と間げき比との関係については、三軸試験の結果については理論と実験結果との一致は非常に良い。

(iii) 水平な矩形の箱の中に一層に勝手に並べた様な鋼球を一側方壁で押し込んで行く実験(二次元的一軸圧縮)の場合に壁を押すにつれて壁に近い所から球が詰まって行く現象論で良く説明できる。

(iv) (iii)の実験の場合の壁を押す力と壁の変位との関係を(ii)前半で述べた考えで作った理論で非常に良く説明できる。

(1965. 8. 25・受付)

[筆者：正会員 工博 東京大学教授 工学部]

フラット ジャッキによるプレストレスの導入法の研究

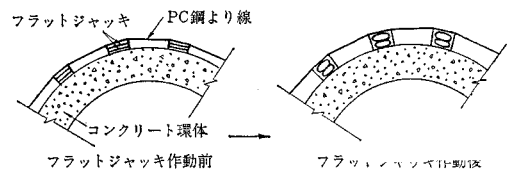
藤 田 亀太郎

シリンダーの円周方向にプレストレスを与える場合、従来一般には P C 鋼線または P C 鋼より線を束とし円周

に沿って配置し、その両端で緊張しシリンダーに定着する方法が用いられている。原子力発電に用いられる圧力容器にプレストレスを与えようとする場合以上の方法では緊張時の摩擦損失も大きく、大きいプレストレスを円周方向に与えることは困難となる場合がある。

この研究では、シリンダーに非常に大きいプレストレスを導入するため、その円周に沿ってエンドレスに巻きつけた P C 鋼より線をフラットジャッキで半径方向に押し出し、P C 鋼より線に引張力を与える工法の可能性を検討したものである(図-1)。すなわち P C 鋼線は引張力を受けた状態で各フラットジャッキで支持されフラットジャッキはシリンダーの半径方向に圧力をおよぼす。これによって円周方向にプレストレスが導入される。

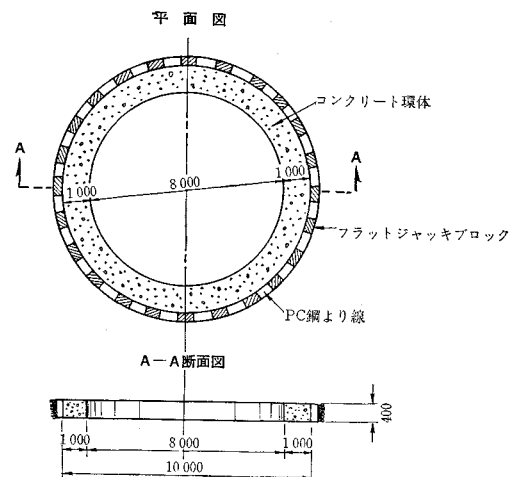
図-1 フラット ジャッキによるプレストレス導入の原理



供試体は高さ 0.4 m、壁厚 1 m、外径 10 m のコンクリート環体でシリンダー状の圧力容器の一部を切り取った部分模型である。供試体の外周にフラットジャッキをセットした 24 個のコンクリートブロックが取り付けられている。ブロックの中には直径 35 cm のフラットジャッキを 2 層に配置している。このコンクリートブロックの外面に P C ストランド支承鋼板を固定し、この鋼板外周に $\phi 12.4$ mm の P C ストランドを 2 層に 38 回巻きつけてある(図-2)。

シリンダー壁体は 28 日強度約 650 kg/cm^2 のコンクリートで造られ、材令 150 日の時プレストレス導入試験を行なった。試験時、供試環体の中央に一台の電動油圧が

図-2 供試体概要図

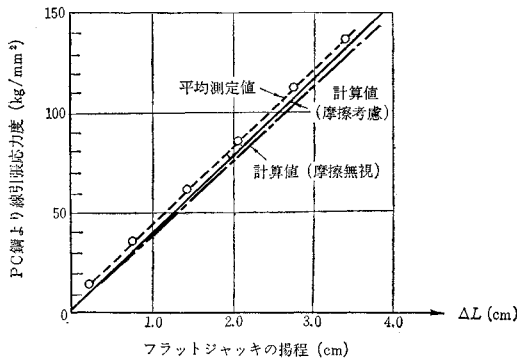


ンプを置き、各フラットジャッキに等圧を加え半径方向にPC鋼より線を押し出し、PC鋼より線に伸びを与え、引張力が作用するようにした。コンクリート応力はカーソン型ひずみ計とワイヤストレーンゲージによって測定した。PC鋼より線引張応力度は測定標点(800mm)を定め、その区間の伸びをノギスで測定することにより求めた。供試環体のプレストレスングによる直径の変化はダイヤルゲージで測定された。フラットジャッキの揚程もノギスで測定した。ポンプ圧力を30 kg/cm²、60、90、120、150、180 kg/cm²と増加させ、前記の種々の測定を行なった。

試験の結果つぎのことが明らかとなった。

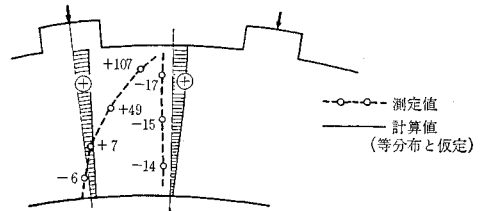
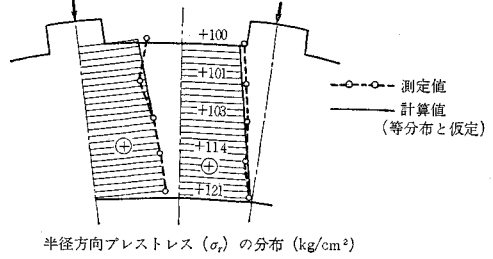
(1) フラットジャッキの揚程とPC鋼より線引張応力度との関係は十分正確に計算で求めることが可能である(図-3)。

図-3 フラットジャッキの揚程とPC鋼より線引張応力度との関係



(2) コンクリート環体に作用するプレストレスを計算する場合、接線方向プレストレスについては、PC鋼より線の曲率によって生ずる半径方向力が円環外周に一樣に分布しているものと考えて求めてよい。半径方向のプレストレスの計算にはこの仮定は用いられない(図-4)。すなわち円周方向プレストレスの分布はフラットジャッキブロック中心でも各ブロック間の中央でもほとんど同一で、PC鋼より線の曲率による半径方向外圧が

図-4 σ_θ, σ_r の計算値と測定値の比較
(PC鋼より線引張応力度 $\sigma_p = 136.8 \text{ kg/mm}^2$ の時)
円周方向プレストレス (σ_θ) の分布 (kg/cm²)



等分布として計算したプレストレスと一致している。しかし、半径方向プレストレスは外圧が等分布として求めたものと実際の値は相当異なる。これはフラットジャッキブロック部では集中半径方向力が作用しているからである。

(3) フラットジャッキの揚程はフラットジャッキコンクリートブロックの四隅において等しくならない場合もあるが、これは取付用ボルトのナットによって容易に調節可能である。

(4) 本工法によれば、従来のようにコンクリート壁体内にPC鋼材を埋込まないのでシースとPC鋼より線との間の摩擦損失のようなプレストレスング時のPC鋼より線引張応力度の損失をほとんど考えなくてもよい。

(5) 以上の結論としてフラットジャッキを用いるこの工法によって所要のプレストレスをコンクリート環に与えることが可能であり、また必要に応じて鋼より線の締め直しも容易である。

(1965.8.30・受付)

[正員会 工博 極東鋼弦コンクリート振興KK社長]

論文集への討議について

論文集編集委員会では、論文集に掲載した全論文に対しての討議を受付けておりますので、討議をされる方は下記の要項をご参照のうえ論文集編集委員会へご提出下さい。

記

1. 討議は論文集掲載全論文を対象とします。
2. 討議の受付は論文集掲載後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ご提出下さい。
4. 討議原稿の取扱いは論文集編集委員会にご一任下さい。
5. 討議に関する問合せは論文集編集委員会へご連絡下さい。