

PS コンクリートの力学における 仮定の真実性

“Validity of Certain Assumptions in the
Mechanics of Prestressed Concrete”
by Grover L. Rogers
(Journal of ACI Dec. 1953 その他 2 論文)

1951年に開かれた第1回 PS コンクリート国際会議の席上で Eugene Freyssinet は PS コンクリートの(2方向版のような)高次の不静定構造物の性状につき重要な発表を行っている。フランスで行われた試験の結果によると最初のひびわれを生ずる荷重は弾性理論による現在の解析方法によって計算された値の5~6倍であったという。この結果として Freyssinet の下した結論は次のようなものであった。

すなわちこの大きな差は弾性理論における根本的仮定に誤りがあるからであり、この理論はもつと実状に即した複雑な弾塑性(elastoplastic)理論によつておきかえられなければならないというのである。この場合、温度及び湿度は物体の性状にいちじるしい影響を及ぼすものである。弾性理論は応力が弾性限以下にある場合工学材料の多くのものに十分適用できることは従来から明らかにされている。鉄筋コンクリートにおいても、単純バリや連続バリのような、比較的簡単な形の PS コンクリートにおいても、弾性理論に基づく解析がひびわれを生ずる荷重を正確に予言してきたことはたしかである。もしこの弾性理論がある種の PS コンクリート構造物に対しては応用できないということになると、これは重大問題であると思われるので、はたして Freyssinet の言うことが正しいかどうかを単純支持の2方向版をとつて実験的にたしかめてみたのが本論文の内容である。

実験室においてつくられた版は正方形で、純径間 3.2m、厚さ 7cm であった。単純支持という数学的意義を十分満足させるため、支端の水平変位及び回転を完全に自由にし、また垂直変位を妨げることには十分の注意が払われた。

数学的解析は Timoshenko の理論によつて行われているということを記すにとどめ、本論文の中核をなす試験の経過につき紹介しよう。この試験においてはひびわれを生ずる荷重をいかにして正確に知るかが一番大切な問題であることは明らかであるから、ワイヤーストレインゲージを大きな引張応力が現われると予想される箇所にもれなくはりつけ、歪が急激に増大する所でひびわれを生じたものとみなすことにした。

他の場所にもワイヤーストレインゲージをはりつけ、計算値と実測値が一致するかどうかをみた。プレストレスは材令 17 日に与えられた(このとき 20 cm の立方体強度は 375 kg/cm² であった)。プレストレスを与える際のストレインゲージの読みは版の端部において不規則な値を示しただけで、版の中央上面においては計算値とよく一致していた。

材令 37 日において本格的な試験がなされた。荷重はまずゆつくり 1000 kg まであげられ、さげられた。つぎには同じ荷重が急激にあげられ、さげられた。翌日は荷重は 2250 kg とし、急激に荷重をさげ、もう一度あげさげが行われた。この荷重は最も危険な箇所で応力が 0 となるはずのものであった。この後ただちに荷重は 4000 kg にあげられ、さげられた。ここで荷重を一応さげたのは 3750 kg から 4000 kg の間で歪が大きな増加をしたからである。このとき肉眼でも微細なひびわれのあることがみとめられた。詳細に検討すると最初に歪が大きく変つたのは 3500 kg と 3750 kg の間においてであった。この材令 39 日においてはコンクリートの曲げ引張強度が 52 kg/cm² であったので、ひびわれを生ずる計算荷重は 3600 kg となつた(ただしクリープによるプレストレスの損失を 6% とみこんでいる)。

以上の実験から結論されるころは、2方向版のように不静定な PS コンクリート構造物に対しても弾性限以内の段階においては弾性理論が適用できるということである。従つて本実験はひびわれを生じる荷重の算定に当つて、不静定な PS コンクリート構造物と、鉄筋コンクリートや静定な PS コンクリート構造物とを別個の理論でとりあつかわなければならないという Freyssinet の主張と明白に対立している。筆者は Freyssinet の主張の根拠となつた測定が、支持条件という重大な事項において事実と仮定が相異していたのではないかと推定している。もし、そうだとすれば計算値と測定値が大きな差を示すのは当然である。もちろんこれは推定にとどまつており、筆者も Freyssinet の主張を決して軽視しておらずもつと多くの実験によつてこの重大事項の解明されんことを望んでいる。

以上で表題にかかげた論文の抄訳を終るが、Freyssinet のような PS コンクリート界の第一人者の意見に対する反論がこの論文でなされている以上 Freyssinet の原論文の紹介を行うとともに主要な論争点の考察に関連のある論文の紹介を行うことは義務であると考えられるので以下においてこれを試みる。

(1) Freyssinet の原論文 (“Importance et difficultés de la mécanique des bétons” 1951 年 9 月に Ghent で行われた Congrès du Béton Précontraint で発表。Magazine of Concrete Research No.8 Dec. 1951 に英訳して掲載されている) : Freyssinet はまず技術の進歩のためには 2 次的な点について詳細な知識を与えることが有用であると同じ

く、その技術の基礎となつている物理的法則に注意を払うことが有用であると指摘した後、一般に広く信じられている誤つた思想を打破することはもつと大事であることを述べ、現在コンクリートの力学について報ぜられている多くの考えは誤まりであるときめつけている。彼はPSコンクリートをより経済的に活用させるためには不静定構造物に応用されなければいけないことを見通し、この応用に当つてはコンクリートについてもつと知らなければいけないとしている。Freyssinetがコンクリートのクリープや収縮について格段の注意をはらつたためにはじめてプレストレストコンクリートが実用化されたことは周知の事実であり、この結果として彼がPSコンクリート界の第一人者になつたわけであるが本論文において彼は再び画期的な説を唱導しようとした。すなわち我々のコンクリートの変形法則に対する無知はすべての合理的な予知を不可能とし、単なる経験的方法にたよらざるを得なくしていると述べた後、彼が誇張しているのではないということを示すため、版の強度試験にさいして彼の得た実験結果につき説明している。すなわち、本抄訳の最初に述べたとおり「PSコンクリート版においては最初にひびわれの現われる荷重は弾性理論で推定される値の約5倍にも達する」というのである。この相異は、不静定構造物においては、応力がひびわれを生ずる応力に達したと、ひびわれの出現とは全然無関係であるということに由来していると彼はいう。ハリにおいては応力が降伏点に達すると、降伏及びひびわれが生じてついに破壊するという定石どおりの現象があらわれる。ところが不静定構造物においては、たしかに応力が降伏点に達した所でコンクリートは降伏するがその量は周囲のまだ弾性的な領域によつて制限される。そのため、単純バリなどにおいてはひびわれを生ずる荷重の到来した直後に平衡が破れるのに反し、スラブのような不静定構造物にあつては新しい平衡状態を招来し、ひびわれを生ずるに十分な降伏量はスラブ全体が弾性変形よりかなり大きい弾塑性 (elasto-plastic) 変形を生じた後でなければならぬといふのである。この Freyssinet の論文はこのほか多くの注目すべき内容を含んでいるが、これらを全部ここで紹介することは本抄訳の論旨を不明確にするおそれがあるから他の機会にゆづる。

以上にあげた Freyssinet の論文は結局ひびわれ荷重の算定方法が静定不静定のいかんによつていちじるしく相違するということを主張している点において、論議の種になりうるものである。たしかに局部的に生じた降伏あるいはひびわれというものが構造物全体の安全に致命的な影響を持たないという点において実用上不静定構造物にはるかに静定構造物よりすぐれているが、しかしはたして Freyssinet のいうように局部的にひびわれを生ずる荷重そのものまでが5倍という大きな数字で示されるようないちじるしい増加を示

すものであるかどうか。ここで奇異に思われるのは Freyssinet の主張は静定構造物だけを対象として考えた場合でも単純引張から曲げにうつつた場合に当然検討されていなければならぬ性質のものであつたと考えられるのに彼がこれをおろそかにしていた点である。曲げの場合縁線応力が降伏あるいはひびわれを生ずる応力に達した場合、まだ弾性領域にとどまつている弾性核 (elastic core) の存在は、明らかに縁線に降伏あるいはひびわれを生じさせるに十分な変形量を与えるのに (Freyssinet の主張をみるとれば) 重大な支障となるはずではないのだろうか。しかるに Freyssinet は単純曲げの場合簡単に弾性理論によりひびわれを生ずる荷重を算定できるとしているがこれは矛盾していないか。抄訳者の疑問提起はこれくらいにしておき、最後に方面をかえて鋼の降伏につき論じた一論文を紹介することにする。その内容からいつて本抄訳の内容を討議するにあたり参考になるところが少なくないと判断する。

(2) The Effect of Non-uniform Distribution of Stress on the Yield Strength of Steel by Dimitry Morkovin and Omar Sidebottom, University of Illinois, Bulletin 372, Dec. 1947

多くの学者が次のような説を唱えている。すなわち鋼のできたある部材が一樣でない応力分布の1軸応力を生ずるように載荷されている場合、最も大きい応力を受ける維の降伏は応力分布が一樣な場合に降伏を始める歪よりかなり大きな歪を生じた後でなければ起らないといふのである。この説を最初に述べたのは、中西博士で1931年に博士が発表されたところでは鋼のハリの曲げ試験に際して最も大きな歪を生ずる維が降伏するときの応力は単純引張にさいして降伏が始まるさいの応力の1.26~1.70倍に達すると主張している。同様な説はCook, Bierettその他ドイツの学者によつて唱えられている。はたしてこれらの説が妥当であるかどうかをみるために種々の実験が行われた結果次の実験結果がえられた。明白な降伏点を有しない焼鈍ハイカーボン鋼や、上降伏点のない軟鋼が曲げを受ける場合縁線の応力が単純引張試験の降伏点に達したときに降伏がはじまつた。また、切欠や孔を有する上降伏点のない軟鋼が引張を受ける場合最も大きい応力をうける部分の応力が、応力分布が一樣な場合の降伏点に達したときに降伏がはじまつた。以上のことから明らかにされたことは応力分布が一樣であろうとなかろうと鋼が降伏する場合の応力には変りがないということである。応力勾配がある場合は応力分布が一樣な場合よりもより大きい「弾性応力」を生じうるといふような誤まつた結論は主としてつきにあげることから生じたものである。すなわち降伏の初期において応力勾配を有する場合はほんの一部が降伏するだけであるからただちにより有利な応力の分布を招来し、その結果荷重歪直線あるいはモーメント歪直線からほんの

わずかしかそれない。このためどこで直線関係からそれるかということを実験的にたしかめるのが容易でなく誤まつた結論に導きやすいというのである。

(鉄道技術研究所 樋口芳朗)

貯水池内の密度流がもたらす諸問題

“How Density Currents Effect Controllers,
Water Users”
Engineering News-Record, Dec. 17, 1953.

貯水池内の温度差ないしは水中に溶解懸濁する物質の密度差によつて生ずるいわゆる密度流は、河水の汚染や上水水源の水質等多くの問題に影響を及ぼし、これにともなうダム放流量の調整や、下水放水口、上水取水口の位置設計に関して近年非常に関心をもたれつつある。この問題に関して TVA の水理技術者達によつて調査研究された結果が、昨年 9 月ミネソタにおける国際水理学会の席上発表されたが、本文はその一部についての紹介であつて、この抄録が多少なりともこのような問題に対する関心のいとぐちとなれば幸いである。もちろん、その詳細については、同上の論文集 (Proceedings of the Minnesota International Hydraulics Convention, Sept. 1953) を参照されたい。

貯水池は 4 月～9 月の間にその表層が暖められるために温度差によつて成層状態をなす。そこへ上流から水が流入するときは、その流入水の温度によつて(またある程度はその溶解懸濁物質にもとづく密度差によつて) 内部流ないし底層流となつて流れ、貯水池内に密度流を生ずる。このような密度流による汚染水の運動が問題となつている顕著な例を 2 つほどあげよう。まづ Tennessee 河の Ft. Loudoun 貯水池においては、貯水池上流端で冷い流入水は池の表面から入り込んで底近くを流れ、暖い貯水はその上の水面に刃先を上流に向けたくさび形をなしている。上流貯水池からの冷水の流入がとまるか、ないしはいちじるしく減ずる場合には、すでに貯水池内にある冷水が層を成し暖水にとつてかわる結果、上流に向う暖水の流れを生じ、これが Knoxville 市の下水放出口をよぎつてその汚水を上流の上水取水口までももちきたすような状態である。このような市の給水源の汚染を防ぐ方法としては、夏の間少なくとも 2000 cfs の流量を Ft. Loudoun 貯水池へ流し込まねばならないことが研究の結果明らかとなつた。

第 2 の例として、Tennessee 河、の Watt Bar ダムの背水は支流の Clinch 川、及びさらにその支川の Emory 川に及んでいる。水温調査の結果、Clinch 川上流の Norris ダムが放流する冷水は潜行密度流となつて流下して Emory 川に入り込み、底部にそつてくさび状をなして上流に遡る。このため 8 月には Emory 川本来の暖水は水面近くのごく薄い層をなして流下す

るにすぎない。従つてこの上流へ向う流れのために、Emory 川沿いの Harriman では、その放流下水や製紙工場の廢液が町の上流端にある上水取水口までもたらされる。この対策として現在、汚水を下流へ向う表層へ捨てるような放出口を新設し、また工場廢液をはしけで下流の処理場まで運ぶことが行われている。

次に密度流の形響をうける冷却用水の問題の例であるが、上述の Clinch, Emory 両川にはさまれた半島上に目下建設中の Kingston 火力発電所においては、75°F 以下の 2470 cfs の冷却用水を必要とする。この地点での水温に影響を及ぼす上流発電所の放流量を計画的に調整することは不可能であるから、水温分布を十分に調べて、貯水池が成層をなす期間に表層の暖水を混入せずに望みどおりの水温水量の水をとり入れられるよう、その取水塔を設計することが必要である。

貯水池内の密度流が、上水や工業用水の取水、下水や工場汚水の放流等に重要な影響を及ぼすことは以上の例から明らかであつて、これらの諸問題を解決するに当つて密度流を調査研究することはさらに将来への大きな課題である。

(電力中央研究所 浅田 宏)

大規模な杭の載荷試験

“Pile Loading Tests, Morganza Floodway
Control Structure”
by C.I. Mansur, J.A. Focht, Jr.
Proc. A.S.C.E. Vol.79, Sept. No.324,
Nov. 1953

Morganza の洪水調節用構造物を造る場所は約 80 ft の圧縮性粒土層の下に砂層がある。粒土層は平均含水比 42～60% で L.L. は 60～100% である。圧縮試験と非圧密非排水の三軸試験によれば粒着力は乱されない試料で 660 lbs/ft²、乱された試料で 620 lbs/ft² であつた。砂は標準貫入試験の $N=55$ で相対密度は約 80% である。100 t の圧縮力、25 t の引張力に耐える杭を設計するため大規模な載荷試験を行つた。

圧縮杭に対する試験 沈下のおそれをなくするため、杭は砂中まで打つものとし、粘土層中の skin friction は圧密のため長時間後にはほとんど無くなると考え砂に打込まれた部分の支持力のみを求めた。このために砂層より約 5 ft 上の粘土層中に止る柱 (a pile) と砂層中まで打込まれた柱 (b pile) とを一对にし試験を行い b と a の支持力の差を砂中のみの柱先支持力とした。

柱は円筒形パイプ (直径 18 in, 24 in, 30 in)、単一柱 (一様なテーパー、末口 18 in, 1 in/7 ft のテーパー、先端 8 in) 単一杭 (直径 12 in)、プレカストコンクリート杭 (22 in 角)、を用いた。

載荷は 20 t までに増加し、沈下が 80% 以上起きるか、あるいは 24 時間後に次の 20 t を加え、破壊を

起きぬものは 400 t まで与えた。途中 3 回荷重を取去り 80% 以上の浮上り後、あるいは 12 時間後に再び荷重をかけた。これから粘土の圧密と思われる部分を荷重一沈下曲線から除くことができる。また rebound した後に残る沈下量を net settlement とし、また弾性変形曲線は rebound の量を plot して示した。

杭の破壊荷重算定は (a) net settlement が 0.25 in になる荷重、(b) 全沈下量曲線の始めの部分と急になつた部分の接線の交点、(c) 全沈下量曲線が荷重増加に対し比例を破つて増加し始める荷重、(d) net settlement 曲線の勾配が弾性変形曲線の 4 倍になる点、(e) net settlement 曲線が荷重増加に対し比例を破つて増加し始める荷重を見出す方法の 5 つについて求めた。これら 5 つの方法はよい一致を示し、実際にはこれらの平均値を用いた。

杭先支持力は、a, b pile の破壊荷重の差から求めたもの及び両杭の全沈下量曲線の差を plot してその曲線から求めたものの 2 つの方法から求めた。

この結果粒土層中の破壊荷重のさいの skin friction を公称直径と打込み深さから計算し、各杭の平均は 630 lbs/ft² を得たが、乱されぬ試料の粘着力 660 lbs/ft² とよく一致した。

杭支持力を計算によつて求める方法を利用して杭先支持力の試験結果で砂の内部摩擦角 ϕ を逆算した。その方法は (a) Terzaghi Peck による円錐形 pier と杭の支持力式¹⁾、(b) Terzaghi による深い pier への提案²⁾、(c) Jaky による杭の支持力式³⁾、(b) 及び (c) の修正式⁴⁾の 5 つの方法を利用した。これらの結果は (b) の修正式以外では ϕ が平均 30~35° を示し合理的であると思われ、(a) と (c) が試験結果と一致するようであつた。

引張杭に対する試験 圧縮杭とちよつと反対向に同様な荷重の与え方をした。破壊荷重は (1) 0.25 in の全浮上りを示す荷重、(2) 全浮上りと net rise の曲線が比例せずに急に増加する点を求めた。引張杭は砂中まで打込んであるので破壊荷重から砂の摩擦力を推定により除き粘土のみの skin friction を求め、杭表面積から計算して粘着力を出すと引張の場合も乱されぬ試料の粘着力とほとんど一致する。

杭打公式 動的な杭打公式は 6 つの式について最後の 3 in の打込回数から計算したが、試験結果とは破壊荷重も杭先支持力も一致が見られずその比は 4~0.3 くらいであつた。

設計 直径 20 in の杭を 100 t の圧縮杭に、有害な沈下に対する安全率 1.5、押し込み破壊に対する安全率約 3 として選び、長さ 100 ft までは 8 角杭、100 ft 以上は 4 角杭とした。直径 20 in、長さ 75 ft の円形杭を 25 t の引張杭に安全率約 4.5 として選んだ。

¹⁾ Terzaghi Peck : "Soil Mechanics in Engineering Practice" p.176~177

²⁾ Terzaghi : "Theoretical Soil Mechanics" p.134

A. Casagrande, R.E. Fadum : "Application of Soil Mechanics in Designing Building Foundations" Trans. A.S.C.E. Vol 109 (1944) p.430

³⁾ J. Jaky : "On the Bearing Capacity of Piles" Proc. 2nd. Int.Conf. on Soil Mechanics, Vol.I, p.102

(東京大学 渡辺 隆)

細菌及び化学汚染物質の地下運動

"Underground Movement of Bacterial and Chemical Pollutants"

By R.G. Butler, G.T. Orlob, & P.H. McGauhey.

Journal American Water Works Association, Vol.46, No.2 pp.97~111, 1954.

家庭下水や産業廃水を回収再利用する種々の方法が、水資源の活用の見地から研究されているが、経済的にみて最も有望と考えられる方法は、土壌の濾過能力と地下水による稀釈効果とを利用して、これらの廃水を地下水に還元する方法である。このようにして、汚染物質の地下運動の解明に新しい意義が加えられるに至つている。米國カリフォルニア州で考えられている方法は次の 3 つである：

- (1) 過剰灌漑により廃水を滲透させる。
- (2) 浸透池 (Infiltration basin) により廃水を滲透させる。
- (3) 注水井により廃水を直接、帯水層に注入する。

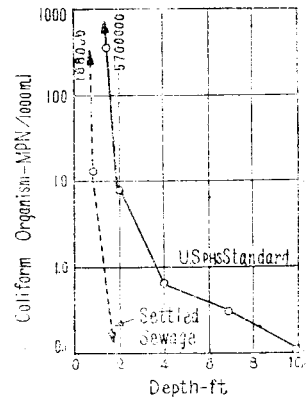
汚染には、地下水面より上部の土壌滲透水にとまらぬ細菌並びに化学物質の運動、及び地下水にとまらぬ細菌並びに化学物質の運動という、2 つの全く異なつた様相があり、前者はあまり水平方向に拡がるのではないと考えてよいようである。

(1) 滲透水にとまらぬ運動 8 個の径 19 ft の浸透池を用いて沈澱下水と処理下水を浸透させる実験を

表-1

深さ	池 B	
	有効径 (mm)	均等係数
1	0.0635	85.7
2	0.0627	92.6
4	0.0658	52.6
7	0.0624	175.0
10	0.1700	3.6
13	0.0612	241.0
平均	0.0306	108.0

図-1



行つた。このときの土壤特性を示せば表—1のとおりである。池Bに対して、浸透水100cc中の大腸菌群最確数と検水採取の土壤の深さとの関係を示せば図—1のとおりである。このような土壤の場合には、沈澱下水や処理下水を4ft以上浸透させると、細菌学的に安全な水がえられる。1ft以上浸透させると、浸透水の大腸菌群濃度はもとの下水の汚染度に関係なくなる。また地下水面が浸透池に接近しているところでは、多孔性土壤・根の穴・蟻穴などを通つて大腸菌群が地下水に侵入すると予想される。

汚染物質の地下運動をさらに検討するため、20個の滲水計(Lysimeter)を使つて、5種類の土壤について実験を行つた。これらの土壤の特性が表—2に示されている。この表からわかるように、有効径の大き

表—2

土壤の種類	有効径(mm)	均等係数	透水率ft/日	浸透水の大腸菌群最確数/100cc
Hanford 細砂質ローム	0.0056	26.7	0.3	< 45
Hesperia 砂質ローム	0.0020	75.0	0.2	< 45
Columbia 砂質ローム	0.0034	51.4	0.3	< 45
Yolo 砂質ローム	0.0155	8.4	0.3	24 000
Oakley 砂	0.015	14.6	0.1	2 400

な土壤の細菌の除去は、小さな有効径のものより小であり、また透水率と細菌除去率との間に相関が存在しない。下水の浮遊有機物は土壤の有効径に無関係に表面の0.5cmで有効に除去され、かつ土壤表面に集積した有機物は深部に移動しない。この有機物の膜が浮遊物に附着した細菌を多数除去するが、浮遊細菌は急な水頭勾配線が存在する。土壤表面下10~50cmにあるいわゆる制限帯(Limiting zone)でもおに除去される。また土壤の汚染と浸透水の汚染がしばしば混同されるが、汚染度の高い土壤から汚染度の低い浸透水がえられる実例もあるから、混同してはならない。

化学汚染については、前記2実験から次のことがわかつた。粘土が存在するときは土壤と廃水の間にイオン交換が起るが、初期のイオン交換の平衡が満足されたのちには、13ftのHanford土壤を浸透することにより水の化学的特性に変化を与えるとは考えられない。化学汚染物質は浸透水にともなつて地下水に達するが、地下水によつて適当に稀釈されるから特別な場合を除いて重大な影響を与えない。また比較的大きなBOD(生物化学的酸素要求量)が地下水に持込まれるようである。

(2) 地下水にともなう運動 文献によれば、地下水にともなう大腸菌群の移動距離は10~232ftである。また化学汚染物質は地下水水中では、細菌より一層速くかつ急速に移動する。文献によれば、数ft~数mil、すなわち細菌の2~30倍の移動距離をもっている。

(国立公衆衛生院 松本順一郎)

巾級数変換の線型差分方程式への応用

“The Application of the Power Series Transform to Linear Difference Equations in Engineering”

By Leonard McFadden

Proc. A.S.C.E. July, 1953 Vol. 79. Sept. No.225

連続バリエーション、連続ラメーン等の解は差分方程式の適用によりきわめて便利に求められ、その解法も種々あるが、本論文は巾級数変換による解法を示す。

(1) 巾級数変換

$\{f_K\}$, $K=0,1,2, \dots$ 与えられた数列

$P(f_K) = f(s) = \sum_0^{\infty} f_K s^K \dots$ 対応する巾級数変換

巾級数変換の公式(21種)が巻末にあるが、本文中で用いる数種を示せば

数列	変換
$\{f_{K+n}\}$	$\bar{f}/s^n - 1/s^n \sum_0^{n-1} f_K X^K$
$f_K = 1$	$1/(1-s)$
$f_K = K$	$s/(1-s)^2$
$f_K = (-1)^{K-1} \sinh K \lambda / \sinh \lambda$	$s/(1+2bs+s^2)$
ただし $\cosh \lambda = b$	ただし $b^2 - 1 > 0$
$f_K = \sin K \lambda / \sin \lambda$	$s/(1+2bs+s^2)$
ただし $\cos \lambda = -b$	ただし $2b^2 - 1 < 0$

(2) 差分方程式の解法(線型2階の場合)

原方程式;

$$f_{K+2} + 2bf_{K+1} + cf_K = F(k) \quad F(K): \text{既知函数}$$

変換;

$$\bar{f}(s)/s^2 - (f_0 + sf_1)/s^2 + 2b\{\bar{f}(s)/s - f_0/s\} + c\bar{f}(s) = \bar{F}(s)$$

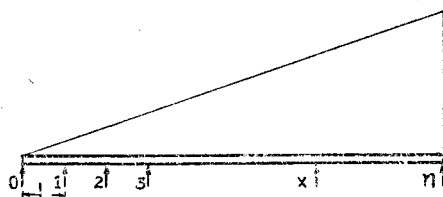
$$\text{または } \bar{f}(s) = s^2 \bar{F}(s) / (1 + 2bs + cs^2) + f_0 + (f_1 + 2bf_0)s / (1 + 2bs + cs^2)$$

上式の逆変換は公式等を利用して可能であり、

1. f_0, f_1 の値が既知の場合、問題は完全に解ける。
2. f_0 の値のみ既知の場合、 f_1 を決める1つの境界条件が必要。
3. f_0, f_1 の両値が未知の場合、それらを決める2つの境界条件が必要。

(3) 例題—1 3角形分布荷重を受ける n 等スパン連続梁の x 番目の交点モーメント M_x を求める(全荷重: P)

図—2 巾級数変換の差分方程式への応用



3 連モーメントの定理により

$$M_{x+2} + 4M_{x+1} + M_x = -PL(x+1)/n^2$$

境界条件; $M_0 = M_n = 0$

変換式:

$$(1/s^2 + 4/s + 1)\bar{M} = -PL/n^2 \{s(1-s)^2 + 1/1-s\} + M_1/s$$

$$\text{また } \bar{M} = -PL/6n^2 [s(1-s)^2 - (6M_1n^2/PL + 1)s/1 + 4s + s^2]$$

逆変換:

$$M_x = -PL/6n^2 [X - K(-1)^{x-1} \sinh \lambda x / \sinh \lambda]$$

ただし $6M_1n^2/PL + 1 = K$ とおき, また $\cosh \lambda = 2$ また $M_n = 0$ であるから $K^{n-1} n \sinh \lambda / \sinh \lambda n$ そこで, M_x は次のようになる,

$$M_x = -PL/6n [X/n - (-1)^{x+n} \times \sinh \lambda X / \sinh \lambda n]$$

ただし $\cosh \lambda = 2$

(4) 例題-2 図のような柱の挫屈荷重

柱の相次ぐ3節点の Slope 間の関係式

$$V_{x+2} - 2(\cos \alpha L + 3\mu \sin \alpha L/\alpha L) V_{x+1} + V_x = 0$$

境界条件; $V_0 = V_n = 0$ なお, $\alpha = \sqrt{P/EI}$, $\mu = E_1 I_1 L / EI L_1$

変換式:

$$(1/S^2 - 2b/S + 1)\bar{V} = V_1/S$$

$$\text{または } \bar{V} = V_1 S / (1 - 2bS + S^2)$$

ただし $b = \cos \alpha L + 3\mu \sin \alpha L / \alpha L$

逆変換:

$$V_x = V_1 \sin \lambda x / \sin \lambda$$

ただし $\cos \lambda = b$ ($b^2 < 1$)図-2 巾級数変 また $V_n = 0$ であるから換の線型差分 $V_1 \sin \lambda n / \sin \lambda = 0$ 程式への応用 従つて $\lambda = K\pi/n$, $K=0, 1, 2, 3, \dots$

かくして

$$V_x = V_1 \sin \frac{K\pi x}{n} / \sin \frac{K\pi}{n}$$

ただし

$$\cos \frac{K\pi}{n} = \cos \alpha L +$$

$$3\mu \sin \alpha L / \alpha L$$

なお, $K=0$ の場合, 挫屈はなく,また $K=1$ の場合両端以外に

Vertical Tangent がないから,

限界挫屈撓みは次式で示される。

$$V_x = V_1 \sin(2\pi x/n) / \sin(2\pi/n)$$

また, 限界挫屈荷重は次の方程式から決定できる。

$$\cos(2\pi/n) = \cos \alpha L + 3\mu \sin \alpha L / \alpha L$$

(5) 結言 原論文はさらに, (i) フィレンデル構桁, (ii) 剛度 C なる軸で連結された慣性モーメント I の円板の振動等を解いている。また巻末に変換の公式並びにその証明がある。

(早稲田大学 平島政治)

プレストレスト コンクリート
の大きな貯水タンク

“Huge Concrete Tanks Are Prestressed”,
Construction Method and Equipment, Jan.
1954, p. 50~55

ペンシルバニア州ノースウェインのフィラデルフィア郊外水道会社の 5 000 000 gal (約 19 000 t) 貯水タンク 2 基がプレストレスでニューヨークの Preload Construction 会社によって建設された。タンクは直径 125' (約 38 m), 水深 54' (約 16 m), 壁厚 17", 屋根ドーム厚 2-1/2" であつて, 壁はコンクリート打設後, 鉛直及び周辺両方面にプレストレスされ, 屋根ドームはショットクリートで施工された。

まずタンク整地を掘削した後に 6" の碎石を置き, この上に底スラブのために 1/2φ 鉄筋を 8" 間隔に並べた。壁の基礎は巾 13' 厚さ 20" のコンクリートであるが, これと前記底スラブとの合計 540 yd³ コンクリートを一緒に継目を設けず打設した。壁と基礎の接合部には深さ 2 1/2" 巾 21" のくぼみを設けこの中にゴムの水止めを壁の中心にくるように配置した。

底コンクリートが十分な強度に達した後, この上に特殊の木造足場を建てた。これは壁型わくをささえ, かつドームの型わくを支持するように設計された。壁型わくは 30" 角の鋼板で, 壁は約 1/9 のセグメントに切り, 水平継手を作らず全高を連続して施工した。

鉛直方向のプレストレス ワイヤは現場で作られた。0.196"φ ワイヤを壁高の 2 倍の長さに切り, その 6 本を 1 組として各線を 2 つに折つて下端にループを作り 12 本にして, 壁を打設してからプレストレスできるように金属製たわみ管に入れて鉛直に下げた。壁の中では鉄筋はドームとのつなぎに用いられただけである。

壁コンクリートの全量は 1 200 yd³ で, その配合は次のごとく, またスランプは 5-1/2", 平均強度は 4 週 5 400 psi (380 kg/cm²) である。

セメント	705 lb
砂	1 200 lb
石灰石	1 830 lb 最大粒径 1"
水	39.4 gal

〔註〕 混和剤を使用せず

鉛直線のプレストレスは手動水圧ジャッキで行われた。

ジャッキは 6 本のワイヤを同時に引張ることができるもので, 170 000 psi (約 12 000 kg/cm²) で引張り収縮及びプラスチック フローによる損失を除き使用応力 140 000 psi (約 10 000 kg/cm²) を与える。ワイヤは壁頂に埋込んだ支承板に, くさび形割アンカーを打込んで止められ, それより上に出ているワイヤを切捨て, 壁コンクリート打設前に取付けておいた連絡管によつてワイヤの周囲をグラウトする。合計 100 箇所のプレストレスに約 113 人/時を要した。

屋根ドームはショットクリートで金網を中心に入れて 2-1/2" 厚に吹き、壁との接合部は約 10" の厚さに吹付けた。ドームは約 120 yd³ のモルタルを要し、ノズルマン 2 人及びその助手によつて 7 日で完成された。

壁の水平方向プレストレスはドーム コンクリートを生じた後に行われた。用いたワイヤは 8#, 0.162"

φ で、最小 140 000 psi の力を加え 105 000 psi (約 74 000 kg/cm²) の使用応力となるようにした。このワイヤは鉛直 1' 当り 40 巻き以下としたので、タンク下部では荷重に応じて数層のワイヤが巻かれることになった。この場合各層はグラウト被覆を少なくとも 1/4" 厚さにし、外厚は少なくとも 8/5 とした。

このタンク 2 基は 25 週で完成した。

写真-1 壁基礎

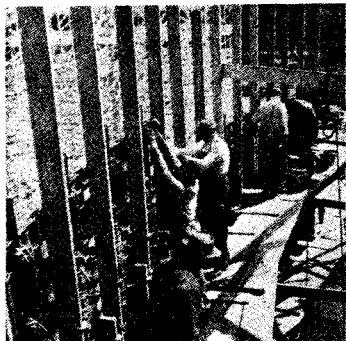


写真-2 内壁型わくの取付け

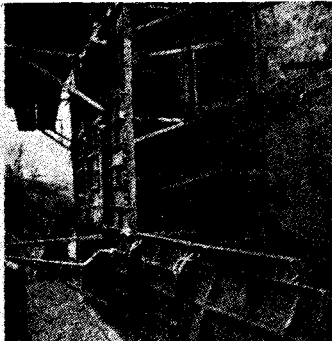


写真-3 内外壁型わくのつなぎ

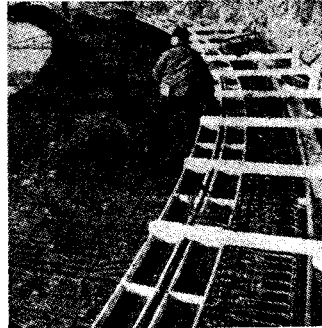


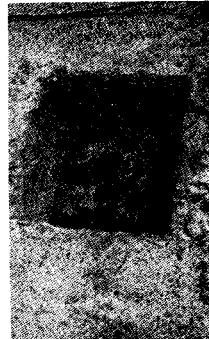
写真-4 鉛直方向のプレストレス



写真-5 くさび形アンカーの打込み



写真-6 ワイヤ上部を切捨てたところ



(建設技術研究所 森 茂)

会 員 消 息

前会長 参議院議員 岡田信次氏は 8 月 4 日付をもつて運輸政務次官の栄職につかれた。なお、前理事 榎 修仁氏 (運輸省民営鉄道部土木課長) は 8 月 3 日付をもつて、高松陸運局長に栄転された。本会は謹んで祝意を表する。

別刷論文集在庫一覧

論文集第 9 号	一般剛節構造物の解法、及びその極限状態附近における性状について	工博	小西 一郎	B. 5 p. 9 20円(¥10円)
" 第10号	昭和 24 年 12 月 26 日今市地震による土木施設の被災について	工博	岡本 舜三 久保 慶三郎	B. 5 p. 18 40円(¥10円)
" 第11号	Mathematical Study of the Motion of Intumesces in Open Channels of Uniform Slope	工博	林 泰造	B. 5 p. 11 50円(¥10円)
" 第15号	On the Backling Strength of an Imperfect Elastic Column	工博	結城 朝恭	B. 5 p. 9 60円(¥10円)
" 第17号	プレストレスト コンクリート桁に関する研究		猪股 俊司	B. 5 p. 90 250円(¥30円)
" 第20号	低湿地緩流河川の治水計画について		広長 良一 八島 忠信 坂野 重信	B. 5 p. 40 150円(¥30円)