

少し曲つた棒の振動

“Note on the Problem of Vibrations of Slightly Curved Bars.”

By Eric Reissner

Journal of Applied Mechanics, June 1954.
Vol. 21, No. 2

棒の曲率とその振動性状特に振動数に及ぼす影響を近似的に解析する。棒の中心線は平面曲線で振動はこの面内に生じ、棒の両端は移動しないとする。

基礎方程式

$$N' = \rho u'' \dots\dots\dots(1.a)$$

$$M'' + (w_0' N)' = \rho w'' - q \dots\dots\dots(1.b)$$

$$M = -Dw'' \dots\dots\dots(2.a)$$

$$N = C(u' + w_0' w') \dots\dots\dots(2.b)$$

ここで $y = w_0(x)$ は無応力時の棒の中心線、 u 及び v はそれぞれ x, y 軸方向の変位、 N 及び M は軸方向力、曲げモーメント、 $D = EI$, $C = EA$ であり、 $(w_0')^2$ は 1 より小さいとする。

両端は移動しないから次の境界条件をうる。

$$u(\pm L) = 0 \dots\dots\dots(3)$$

w に対する境界条件は直梁の場合と同じである。

問題を簡単にするため、横方向の慣性の影響に比べて縦方向のそれは小さいから無視すると $N' = \rho u'' = 0$ ゆえに

$$N = N_0 \dots\dots\dots(4)$$

(4) と (2.b) とから $u' = (N_0/c) - w_0' w'$ となる。これを積分し、境界条件 (3) を考えると

$$u(L) - u(-L) = 0 = N_0 \int_{-L}^L (1/c) dx - \int_{-L}^L w_0' w' dx$$

または

$$N_0 = \int_{-L}^L w_0' w' dx / \int_{-L}^L (1/c) dx \dots\dots\dots(5)$$

(5) と (1.a) (2.b) より次の w についての積微分方程式をうる。

$$(Dw'')'' - \left\{ w_0'' / \int_{-L}^L (1/c) dx \right\} \int_{-L}^L w_0' w' dx + \rho w'' = q \dots\dots\dots(6)$$

例題 1 中心線が次の (7) 式で表わされる等断面バリの自由振動。

$$w_0 = H \cdot \cos \alpha x, \quad \alpha = \pi/2L \dots\dots\dots(7)$$

ここで $w = \cos pt W(x)$ とおき (6) 式に代入し、

$$W'''' - \frac{\rho \dot{p}^2}{D} W = \left[\frac{H^2 C \alpha^3}{2LD} \int_{-L}^L \sin \alpha x W'(x) dx \right] \cos \alpha x \dots\dots\dots(8)$$

両端単純支持の場合には

$$W(\pm L) = W'(\pm L) = 0 \dots\dots\dots(9)$$

直バリの第 1 次対称型の解は

$$W(x) = A \cos \alpha x \dots\dots\dots(10)$$

(10), (8) から

$$A \left[\alpha^4 - \frac{\rho \dot{p}^2}{D} + \frac{H^2 C \alpha^3}{2D} \right] = 0 \dots\dots(11)$$

または

$$\frac{\rho \dot{p}^2}{D} = \left(\frac{\pi}{2L} \right)^4 \left[1 + \frac{CH^2}{2D} \right] \dots\dots(12)$$

振動数に対する曲率補正は H/i (H : ライズ, i : 回転半径) の函数で、スパンには無関係である。ただしこれらは前述の仮定に立脚した近似解法の対称型振動に対する補正であり、この近似解法では非対称型振動に対する補正はない。(12) 式による第 1 次対称型振動数は、 $H/i = (30)^{1/2} = 5.48$ のときは第 1 次非対称型のそれと等しく、 $H/i > 5.48$ のときはそれより高い。

縦方向慣性の影響 例題 1 を Rayleigh-Ritz 法で解くと

$$\frac{\rho \dot{p}^2}{D} = \left(\frac{\pi}{2L} \right)^4 \left[1 + \frac{1}{2} \frac{H^2}{i^2} \right] \left[1 - \frac{\pi^2}{64} \frac{H^2}{L^2} \right] \dots\dots\dots(12.a)$$

ただし、 $W = A \cdot \cos \alpha x$, $U = B \cdot \sin 2\alpha x$ とおく。

この式からライズの低いアーチでは縦方向慣性の影響は無視できることを知る。

例題 2 スパン $2L$ の単純支持等断面曲バリで曲率が次式で表わされる場合を考える。

$$w_0'' = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos \alpha_{2n+1} \cdot x + B_n \sin \alpha_{2n} \cdot x \dots(13)$$

$$\alpha_n = n \pi / 2L$$

ここで、 $w = \cos pt W(x)$, $q = 0$ とおき (6) 式から

$$W'''' + \frac{C}{D} \cdot \int_{-L}^L w_0'' W \alpha x \cdot \frac{w_0''}{2L} - \frac{\rho \dot{p}^2}{D} W = 0 \dots\dots\dots(14)$$

上式の解 $W(x)$ は次の形で表わされる。

$$W = \sum_{n=0}^{\infty} X_n \cos \alpha_{2n+1} \cdot x + Y_n \sin \alpha_{2n} x \dots\dots(15)$$

(14), (15) 式から

$$\left[\alpha_{2n+1}^4 - \rho \dot{p}^2 / D \right] X_n + 1/2 \cdot C/D \times A_n \sum (A_m X_m + B_m Y_m) = 0 \dots\dots(16.a)$$

$$\left[\alpha_{2n}^4 - \rho \dot{p}^2 / D \right] Y_n + 1/2 \cdot C/D \times B_n \sum (A_m X_m + B_m Y_m) = 0 \dots\dots(16.b)$$

上式から

$$\left\{ 1 + \frac{1}{2} \frac{C}{D} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{A_n^2}{\alpha_{2n+1}^4 - \rho \dot{p}^2 / D} + \frac{B_n^2}{\alpha_{2n}^4 - \rho \dot{p}^2 / D} \right\} \times \sum (A_m X_m + B_m Y_m) = 0 \dots\dots(17)$$

w_n が振動数に影響するという条件から

$$\sum A_m X_m + B_m Y_m = \int_{-L}^L w_n W dx \neq 0$$

曲率の影響を受ける振動数は、次の振動数方程式で算定できる。

$$\sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \frac{A_n^2}{\rho \bar{p}^2 |D - \alpha_{2n+1}^2} + \frac{B_n^2}{\rho \bar{p}^2 |D - \alpha_{2n}^2} \right\} = 2 \frac{D}{C} \dots \dots \dots (18)$$

(早大理工学研究所 平島政治)

永久凍土地帯の上水道計画

“How a Water Supply was Designed for a Permafrost Area.”

By John R. Wallace, Jr.

Public Works, Jan. 1954

“Design of Water Distribution Systems for Service in Arctic Regions.”

By William B. Page

Water and Sewage Works, Aug. 1954

配水管及び給水管の凍結は寒地上水道技術者の直面する大きな問題の一つである。アラスカのフェヤバンクスの市の上水道計画と米国公衆衛生庁の給水管凍結防止についての実験結果との両者を紹介する。

アラスカ及び北部カナダで実際に使用されて成果をあげている配水方法は (1) utilidore とよばれる 1 本の管渠またはトンネル中に給水管、下水管及び蒸気管を収容する方法; (2) 高圧及び低圧の 2 本の配水管を並列に敷設し、前者で水を消費者に送り、消費された残りの水を後者によりポンプ場に戻し、必要な場合には水をポンプ圧送の際に加熱する方法; (3) 在来のごとく 1 本の配水管を使用するが、給水管の蛇口から水を流し放しにして、配水管や給水管中で水が停滞しないようにする方法の 3 つであり、建設費は (1), (2), (3) の順に安くなる。

(3) の方法は次のように改善できる。1 本の配水管を用いる場合でも、ポンプを使用することにより配水管中の水を循環せしめ、それにより配水管中の水の停滞を防止できるが、給水管中の水は蛇口を開放しなにかぎり停滞して不都合である。しかしこれも給水管を 2 本使用して水をたえず循環させることにより解決される(図-1 参照)。この改良法はフェヤバンク

市により上水道拡張に当つて採用された。改良法の原理は配水管及び給水管中の水の流速を十分大きく保つことにより、凍結の原因になる水の熱損失を防ぐことである。すなわち浄水場から送られる水は、凍結に必要な熱損失を生じないうちに、全配・給水網を流下してもとの浄水場に戻るよう計画される。水の摩擦による発熱は、実用的な流速では熱損失を補うのに不足であるから、ポンプ送水の際に水を加熱することが必要となる。同市では市管のスチーム工場の復水器の冷却廃水を加熱に利用することになっている。

この方法では水の熱損失の検討が重要である。同市の配水管の埋設深さは 6 ft に決定されており、この深さでの温度は冬期の平均 27, 最低 15°F である。土壤の熱伝導率は最高 12, 平均 9 Btu/hr./sq.ft./in./°F と推定されている。熱損失の計算においては、管壁及び覆土は同心円筒と仮定して、次の式が使用されている。

$$Q = \frac{k(A_s - A_p)}{2.3 \log_{10} (A_s/A_p) (T_p - T_s)}$$

ここに

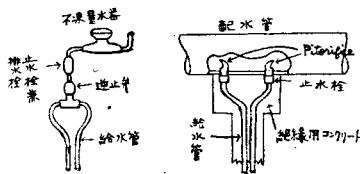
- Q: 熱損失 (Btu/hr)
- k: 土壤の熱伝導率 (Btu hr./sq.ft./in./°F)
- A_s : 円筒状覆土の外表面積 (sq.ft.)
- A_p : 管の外表面積 (sq.ft.)
- T_p : 管の温度 (°F)
- T_s : 土壤の温度 (°F)

d: 管の外周から覆土の外周までの距離 (in) である。熱損失その他の計算結果にもとづいて配水管中の最適流速は 3 ft/sec に決定されている。

もう一つの重要な問題は、給水管の流速を十分大きくするように、配水管に挿入される給水管端部 (pitorifice) の構造をきめることである。公衆衛生庁の Page 氏は種々の型式のオリフィスを使つて、配水管と給水管との流速の関係を調査した。フェヤバンクスの市もほぼ同様の調査を行い、図示の型式のものを採用することに決定しているが、これは Page 氏の推奨している型式のオリフィスと同一設計している。

(国立公衆衛生院 松本順一郎)

図-1



ベルギーの格納庫に使用された長径間のプレストレスされた鋼トラス

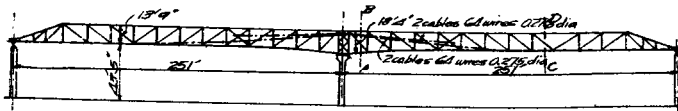
“Long Prestressed-steel Truss Erected for Belgian Hangar.”

By Gustav P. Magnel

Civil Engineering, Oct. 1954.

ブラッセルのメルスブルク飛行場に最近完成された鋼トラスの格納庫がただ 1 本の柱で 502' 215 ft² の敷

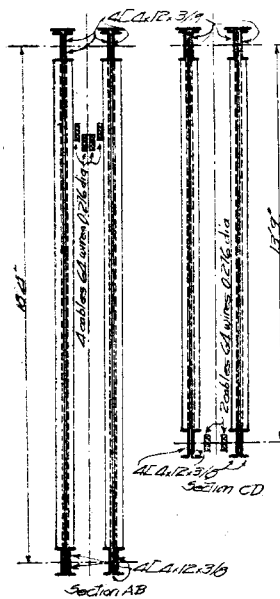
図-1



地をおおつた。この柱は戸口から 56 ft 入つた所であり、長手方向の中央にある。おもな構造は 図-1 に示すような連続構でその上に張出部を持つ 13 個の二次トラスがある。

1. 主要構 フレストレスされ、図-1、2 に示すのがその一般図及び断面図である。このトラスは一径間づつ地上で組立てられ中央の柱の上で懸がれ、そこ

図-2



に固定される。トラスは 4 本の鋼索でプレストレスされる。その鋼索は径 0.276 in の鋼線 64 本をまとめたものであり、図-1 のように配置される。そのうち 2 本は左端から 75 ft 以上下弦に沿い、そこから上に曲がり柱の上でトラス上側を通り、次に下に曲がり隣りの径間へ 84 ft ばかり入つた所に固定され、他の 2 本は前述の 2 本と対称に取付けられる。中央部では 4 本の鋼索が 図-2 に示すように上側を通る。主要構は中央で固定、両端は移動可能であり、その 1 径間づつ 2 個の起重機で釣りあげられる。まず第一に中央の連結用トラスが柱の上に固定され、順次各径間のトラスが架設され、それらが中央の連結用トラスにボルト締めされ連続となる。そして全骨組が組まれた後でプレストレスされる(プレストレスは 385 t)。プレストレスに使用する鋼線はベルギーで一般にプレコンに使われているものと同じで、2 本の鋼索にプレストレスした力は最初 360 t、すなわち 105 000 lb/in² となるようにする。これは鋼索は長く引張つておくと 9% のプレストレスの損失があるから設計にはこれを見込み、全下方荷重に対して軟鋼のプレストレスの全損失を除いて鋼線の応力は 105 000 lb/in² に達する。風による上方荷重に対してはプレストレスの全損失を除いて鋼線の応力は

93 000 lb/in² に下る。これはこの屋根で最も鋼線が弛んだとき鋼線の応力が 105 000 lb/in² から 93 000 lb/in² になることで、この変化量は最小応力の 13% である。このとき主要構

(軟鋼) の応力が 21 000 lb/in² を決して越えない。

2. 設計荷重及びたわみ 死荷重は別として屋根は雪荷重として 7 1/4 lb/ft² で次の風荷重をうけるものとして設計される。その風荷重は垂直投写面に 12 1/2 lb/ft²、またどのような面に対しても 6 1/4 lb/ft² の下向き圧となる。格納庫の戸が開いているための上方圧は 12 1/2 lb/ft²、また外側の浮揚力として 6 1/4 lb/ft² となる。従つて屋根は全上方圧として 18 3/4 lb/ft² に抵抗するように設計されている。雪荷重による最大たわみは径間中央で 2 1/2 in で、上方の風によるたわみは 4 in、従つて径間中央でのたわみの最大変化は 6 1/2 in となる。

3. 径間長と経済性 重量の経済は従来の設計法に比し 12% で価格では 4% である。しかし鋼索の応力を 105 000 lb/in² の代りに 130 000 lb/in² にあげると価格で 6% の経済となる。またより長い方が経済的で 300 ft のトラスでは重量で 25%、価格で 18% 従来の設計より経済的となる。

なお深い興味を持つ方は Belgian periodical "L'Ossature Métallique, No.10, Oct. 1953" を参照されたい。

(早大理工学研究所 西山啓伸)

鉄筋コンクリート煙突の設計および 施工標準示方書

(ACI 505-54)

"ACI Standard Specification for the Design and Construction of Reinforced Concrete Chimneys (ACI 505-54)"

Reported by ACI Committee 505.

Journal of ACI, Vol.26, No.1, Sept. 1954.

1934 年、「鉄筋コンクリート煙突の設計および施工標準示方書」試案が ACI Committee 505 によつて発表されその後の経験にもとづいて、1949 年 4 月より同委員会においてこの試案の改正を着手し、その結果ここに発表された示方書が作製された。

改正されたおもな点は大体次のとおりである。

1. 設計の根拠そのものには変りはないが、近年、強度の大きいコンクリート、すなわちヤング係数の大きいコンクリートが使用されるようになったので、図式解法の図から $n = E_s/E_c = 15$ の図を除き、 $n = 18$ の図

を新たに加えている。

2. 改正前の試案では、煙突をカンチレバーと考えて地震による応力を計算している。この方法は、煙突の下1/5の部分に対しては適当であると思われるが、上4/5の部分に地震時クラックが生じた経験から、これは煙突が whipping action を受けるものと考えて、上4/5の部分の計算方法を改正している。

3. 裏積と煙突殻との間の温度勾配については大巾に改正され、裏積材料の種類、厚さおよび通風の有無に対してそれぞれ温度勾配の計算方法が述べられている。

なお、この示方書の序には次の点が強調されている。

この示方書に述べてある応力の計算方法およびこれに用いてある諸常数の適否は、将来の研究、経験によつて決定されるべきものであること、特に温度勾配については、重要なことであることが認められていながら、これまでこれに関する資料が少なかつた点を考えて、委員会では建設的な批判を望んでいる。

示方書は、総則、材料および試験、基礎の設計、煙突殻の設計、許容応力度、施工、煙突の付属物、死荷重および風荷重による応力式の計算方法の8章および付録計算式の誘導からなっている。

第1章 総則においては、この示方書は鉄筋コンクリート煙突の設計および施工について述べてあり、裏積、その支持および裏積によるコンクリート殻内の温度応力に対する影響について規定したもので、温度および煙による磨耗、腐食に対する抵抗を考慮した裏積材料の適否についてはこの示方書の範囲外であると、適用の範囲を述べている。

第4章 煙突殻の設計においては、煙突の高さと風圧との関係、地震によるモーメントの計算式、裏積および通風の有無のおおの場合における殻内外面の温度差の計算式および煙突殻の死荷重、風荷重および垂直、周辺両方向の温度による応力の計算式が述べられている。特に地震に対しては、全高の1/5以下の部分およびそれより上部に対して地震によるモーメント M_e の計算式を分けて用いるよう規定している。すなわち、前者に対しては $M_e = Fh''$ 、また後者に対しては、 $M_e = Fh''[1 + h'/100]$ である。ただし、 $F = Wa/g = WK_e$ 、 W : 計算を行う部分より上の、殻によつて支えられている裏積をも含めた煙突の重量 (lb)、 h'' : 計算を行う部分より上の煙突の重心までの距離 (in)、 h' : 計算を行う断面と、煙突のベースから煙突全高の1/5の点までの距離 (ft)、 a : 地震による加速度 (fps/sec)、 g : 重力の加速度 (fps/sec) ; $K_e = a/g$: 震度である。

第6章 施工においては、使用するコンクリートの水セメント比は53%以下であること、リフトは10ftを超えてはならないこと、その他コンクリートの養生および供試体数について規定している。

第7章 煙突の付属物においては、頂部の装飾は、殻断面を急激に変化させることになり、応力が集中し、酸害を受けやすいから、頂部の装飾は行わないのがよいこと、その他裏積の施工および殻の煙道取付口周辺の配筋について規定している。

第8章 死荷重および風荷重による応力式の計算方法においては、第4章に述べた各応力計算式の計算に便利な計算図がかかげられ、その使用方法が述べられている。

(電力中央研究所 西沢紀昭)

プレストレストコンクリート構造物の振動実験

“Schwingungsversuche an vorgespannten Bauwerken.”

von Hermann Bay

Die Bautechnik, August 1954

高強度鋼を使つたりプレストレスト コンクリートを採用することにより断面を小さくすることができるが、この際注意しなければならないことは普通の静力学をもととして考えた種々の条件を満足する以外に、動力学をもととした振動特性についても検討しなければならないことである。断面2次モーメントの小さいことと付加死荷重の小さいことから必然的に外的振動の影響が大きくなりやすい。こういったものの計算は弾性理論によることにして十分であり、振巾と固有振動数はこうして求められる。振動特性の検討に当つて興味深いのは倍率係数(抄訳者註: 共鳴時の振巾と静荷重として載荷されたときの振巾の比)であるが、これは内部減衰の函数としてあらわされる。今日のところ遺憾ながらこれらの値を実験的に求めたものはきわめて少ないので(1)共鳴振動数と(2)減衰常数 D 、倍率係数 $V = 1/2D$ の測定を目的として以下のような測定が行われた。

1. Hamburg-Wilhelmsburger 間 Wilhelmsburger 橋の振動実験 この実験にあつては固有振動数及び減衰常数の測定と同時に動荷重のもとにおける格子構造の荷重分配の測定が行われた。測定は1952年11月20~21日の夜間交通のとだえたときにドイツ国鉄の手により行われた(この橋はスパン43.36mの単純桁で中央部桁高は1.45m、これとスパンとの比は1:30で断面は5つの箱形桁からなり、各桁は径5mmのPC鋼線12本からなる束49を用い、Freyss-

inet-Wayss & Freytag 方式によりプレストレスが与えられていた)。振動発生機は桁の中央においたり桁の端部においたりしたが、いずれの場合も固有振動数は約 2 cycle/sec であつた (計算値は 1.8 cycle/sec であつた)。橋の横方向において振巾の差はなかつた。実際は少し水平と傾斜した分布になつていたがこれは断面が少し不对称だつたからである。減衰常数 D は 0.023 であり、従つて倍率係数 $V=1/2D$ は 21.7 であつた。走行荷重による試験結果も大体同様の結果を与えた。本測定の結果得られたおもな結論は次のとおりである。

- a) この橋は鋼構造程度のはなはだ小さい減衰常数を有し、弾性体のような性状を呈する。減衰常数の大体の値は鋼構造で 0.015, プレストレスト コンクリート構造で 0.025, 鋼との合成構造で 0.065, 鉄筋コンクリート構造で 0.10 である。
- b) 固有振動数は実測値と計算値が割合によく一致していた (コンクリートの立方体強度 450 kg/cm^2 に対し $E=400\,000 \text{ kg/cm}^2$ と仮定して計算した)。
- c) この振動実験からは衝撃係数をきめることができなかった。というのは 30 分間にわたつて車両通過による振動をあらかじめ測定しておいたが 2 cycle/sec というような振動が実際に見出されなかつたからである。車両通過による振巾増加はきわめて小さいものであつた。
- d) この橋の横方向の剛性は十分であつた。横桁はこの目的のために十分役立ついた。

2. Altona 国民公園競技場見物席の片持ちプレレストレスト コンクリート構造の振動実験 この見物席は 7000~8000 の席に屋根をかけるようになっており、階段席の長さが 10.85 m, 屋根の長さが 13.95 m であり、カウンターウエイト桁によりモーメントの平衡が保たれるようになっていた。振動実験の結果判明した結論は次のとおりであつた。

- a) この構造も Wilhelmsburger 橋と同じくはなはだ小さい減衰常数を有し弾性体のように働らく。
- b) 片持ち構造まで一諸に振動し影響を及ぼすような複雑なラーメン構造の固有振動数を検討するにあつては固有振動数の上限及び下限が求められるだけである。図式解法をとるのもよからう。
- c) 構造物を設計するにあつては上記で求めた固有振動数の範囲を逃げるようにしなければならない。歩調のことをよく考慮しなければならないが一般に群衆や軍隊の行進の場合 1.9 cycle/sec くらいで、騎兵の場合 3 cycle/sec くらいである。

(鉄道技術研究所 樋口芳朗)

プレレストレスト コンクリート用の コンクリートについて

“Properties of Concrete and Their Influence on Prestress Design.”

By Raymond E. Davis & G.E. Troxell.

Journal of A.C.I., Jan. 1954

プレレストレスト コンクリートにおいては、コンクリートについて特に注意を払わねばならぬ点 が三つある。すなわち、(1) プレストレスト部材全体にわたつて、コンクリートの品質は均等であること、(2) 乾燥収縮のできるだけ小さいコンクリートを用いること、(3) プレストレスト導入後のクリープのできるだけ小さいコンクリートを用いること。

(1) については、一般の無筋および鉄筋コンクリート構造物においても欠くことのできない事項で、プラスチックでウォーカブルなコンクリートを材料分離のおこらない方法で施工することにより目的は達せられる。(2)、(3) は、プレレストレスト コンクリートに対し特に大切なことである。なぜならば、乾燥収縮とクリープが大きいと、折角導入されたプレレストレストが消失してしまうから…。以下 (2)、(3) について記す。

1. 乾燥収縮およびクリープ現象 乾燥収縮とクリープとはきわめてよく似た現象である。コンクリート中のセメントの硬化につれて、練混ぜ水の一部は結合水となり、一部は生成されたゲルに吸収され、残余の水は空隙や毛細管の中にとどまる。コンクリートの四囲が乾燥状態にあると、結合水以外の水は毛細管を経て外気に蒸発逸散するから、ゲルは乾燥し収縮する。コンクリートがプレレストレストのような持続荷重を受けると、ゲルに吸収されている水は押出されるから、蒸発乾燥の場合と全く同様に収縮し変形する。これがクリープである。

2. 収縮およびクリープに影響するファクター

プレレストレスト コンクリートにおいて、セメント使用量が普通の範囲内であれば、他の条件を同一として、一定応力と乾燥条件のもとで、コンクリートの収縮は、配合の貧富には影響されず大体練混ぜ水量に比例する。また、一定応力と乾燥速度のもとでは、クリープの量は応力度、セメントペーストの量および水セメント比に直接比例する。従つて、コンクリートの収縮とクリープとを最小にするためには、所望のコンシステンシー、ウォーカビリティ、プラスチック等が得られる範囲で、セメントペースト、練混ぜ水および水セメント比を最小にしなければならない。セメント使用量を増すことは、ペーストの量も水量もともに増加することになるから、たとえ水セメント比は小さくなり強度は増大しても、収縮もクリープも増加する。いち

じるしく富な配合は望しくない。

(1) セメントについて 今日市販されているセメントについていえば、その粒度は収縮にはわずかに影響があるといった程度で、それよりも化学組成の方がモルタルおよびコンクリートの乾燥収縮にいちぢるしく影響するのである。それゆえ組成のちがいに、Aセメントの収縮はBセメントの収縮の1.5倍ということがある。一般にいつて、ケイ酸3石灰の多いセメントとか、アルカリすなわちナトリウムやカリウム分の少ないセメントを用いたコンクリートの収縮は小さい。

(2) 骨材について 乾燥収縮とクリープの量は骨材の粒度に関係がある。細粗粒の混合した粒度のよい、空隙率の小さいものが望ましく、最大寸法は大きいほどよい。水セメント比を同一とすれば、モルタルの収縮は骨材最大寸法 3/4 in (20 mm) のコンクリートの2~3倍、同じく最大寸法 1 1/2 in (40 mm) のコンクリートの3~4倍に達する。この傾向はクリープについても同様である。また、骨材自体の石質も一般に考えられている以上にコンクリートの乾燥収縮およびクリープに大きく影響するものである。堅硬、密度大、吸水率小、そして弾性係数大という骨材を用いれば、収縮もクリープも小さくなる。例えば、吸水率の大きい砂岩の砕石とか、比較的吸水率の高い各種の岩石からなる砂利とかを用いたコンクリートは、堅硬、密実、吸水率のドロマイトまたは石灰石を用いたコンクリートより乾燥収縮が50%も大きくでている。以上収縮に対する骨材の品質の影響を述べたが、いずれもそのままクリープにもあてはまる。一例をあげると、吸水率の比較的大きな砂岩、玄武岩、または良質の花崗岩を骨材としたコンクリートのクリープは、吸水率の小さい硬質石灰岩を骨材としたコンクリートのクリープの、それぞれ2.5倍、2倍および1.5倍であつた。以上の事実からも、収縮とクリープとを最少にするため、プレストレストコンクリートに用いる骨材の選択には、普通コンクリートの場合より一層の注意を払わねばならない。

(3) 混和材について 凍害について考慮しない場合でも、AEコンクリートにして3~5%のエントレインドエアーを入れることは常識となつてきた。この程度のエアーエントレインメントはコンクリートのウォーカビリティーを改善し、ブリーディングや材料分離の傾向を減ずる。よいAE材を使用すれば、収縮やクリープにもそれほど影響を与えるものではないらしい。

硬化促進剤としては、塩化カルシウムが最も一般に用いられているが、コンクリートによつては乾燥収縮

の増加することがあるから、寒中施工または特に早期強度を必要とするとき以外は用いないのがよい。

有機物を主成分とする分散剤を用いる場合、セメント中の少量のある種の成分のために、ときにはそれが骨材中にわずかに含まれていてさえも、コンクリートの収縮やその他の性質に相当影響することがあるから、あらかじめ現場の材料を用いたコンクリートについて強度や乾燥収縮に対する効果をテストした上で使用するのがよい。

近來セメントの粒子が細くなり、コンクリートがカタ練りとなつたので、ケイソウ土を混和することはほとんどなくなつた。ところが最近また次のようなことがわかつてきた。すなわち、むかしのものよりさらに細かく粉砕したケイソウ土をセメント量の3~4%混和すると、コンクリートのプラスチック性を増し、振動によるブリーディングと材料分離の傾向を減ずるのにきわめて有効なばかりでなく、あるセメントでは分散剤と一緒に用いたところコンクリートの強度を増しある程度収縮をも減じたのであつた。

3. 部材の大きさと乾燥速度の影響 乾燥収縮とクリープとは部材の大きさまたは厚さに影響される。部材の寸法が大きければ大きいほど、収縮もクリープも進行はゆつくりで、その最終量も小さいが、続進する期間は長い。例えば、ある乾燥状態のもとで、15 cm厚の部材は実用的には1年で収縮を終るが、30 cm厚の部材は4年以内に終ることはない。そして、終局の収縮ひずみは30 cm厚のものは15 cm厚のもの2/3以下である。

コンクリートの乾燥進行速度は収縮量に多少影響するが、クリープの量にはいちぢるしい影響を与える。たとえば、一定の持続荷重において、相対湿度100%のものでは、クリープによる最終ひずみは最初荷重を加えたときの弾性ひずみとほぼ等しい。ところが、湿度70%または50%のもとでは、クリープひずみは、それぞれ湿度100%の場合の2倍および3倍に達する。(鉄道技術研究所 杉木六郎)

注入のためのグラウトの特性

“Eigenschaften von Zementsuspensionen zum Auspressen.”

von Kurt Walz

Beton-und Stahlbetonbau, Sept. 1954

ポストテンション方式をとつてプレストレストコンクリート部材を製造する場合、PC鋼線周囲への注入は破壊荷重増大の点について重大な貢献をすることは周知の事実であり、このため十分満足な注入を行う

ということが重視されてきたが、本論文もドイツにおけるこの種の研究の一つである。

Walz は PC 鋼線周囲への注入グラウトは次のような性質を持たなければいけないことを指摘している。すなわち良好な流動性とすみずみへゆきわたる能力、材料分離をおこさず均一な性質を有すること、付着強度の大きいこと、硬化乾燥収縮の少ないこと、強度の大きいこと、透水性の小さいこと、等である。実験に使われた材料は粉末度の異なる 2 種の ボルトランドセメント、これらよりこまかく粉末度の異なる 2 種の高炉セメント、混和材として石灰石粉、石英粉、ペントナイト、及び分散材、AE 材が用いられた。石灰石粉、石英粉を混和するときはセメントの 25% とし、水セメント比は 0.55, 1.00, 1.45 (石灰石粉、石英粉はセメントとみなす) とした。ペントナイトはセメントの 3%, 分散材はセメントの 0.7%, AE 材はセメント 1 kg に対し 0.6 cc を混和した。ペントナイトは 24 時間前から水の一部分とまぜておき、分散材や AE 材と同じようにグラウトに投入された。練り混ぜは手練りで 2 分のもの、手練りで 1 分のもの、ターボミキサーで 7 分半のもの、15 分のもの、の 3 種とした。ここでターボミキサーとは容量 8 l で上部があいており、グラウトは固定した歯車と 1 分間 6000 回転の歯車との間で練り混ぜられる。このミキサーで練り混ぜるとグラウトの温度は 4~16°C 上昇しこれが種々の影響を及ぼしたので、のちには水で冷却させた。グラウトの性質をみるためには次のような試験が行われた。

すなわち 1 l の重量

測定、図に示す容器にみたしたグラウトが 1 秒間に流出する量から流動性測定、ビュレットでみたした 100 cc の水の下からグラウトを流入

させ、水を追い出したところでその重量を測定することによるグラウトの水によるうすめられ方測定、径 6 cm、高さ 36 cm のメスシリンダーにグラウトをいれることによる水の上昇測定、試片による収縮強度の測定で、得られたおもな結論は下記のとおり。

a) 流動性：手練りの場合、水セメント比が大きくなるほど大きくなる。ただしこの変化は普通ボルトランドセメントの場合小さく、高炉セメントの場合大きい。石英粉でセメントの一部をおきかえても流動性はかわらない。粉末度の小さい石灰石粉やペントナイトを混和すると少しかたくなった。分散材や AE 材は

ほとんど影響を及ぼさなかつた。ターボミキサーによって練り混ぜると練り混ぜ時間 7.5 分の場合手練りのときに比して流動性が大となつたが、練り混ぜ時間 15 分の場合は冷却させると流動性が変らず冷却させないと流動性が小さくなつた。

b) 水によるうすめられ方：全実験にわたつてこれといった明瞭な結論が認められなかつた（抄訳者は上記の 2 つの性質をみるための測定法として本論文に提案されたものが理想的なものであるかどうか疑問を有している）。

c) 水の上昇：手練りの場合は水セメント比が大となると水の上昇の大となるのが特に顕著である。粉末度の小さい高炉セメントにおいては水の上昇が少ない。しかしボルトランドセメントの一部を粗い石英粉でおきかえてもほとんど影響がなかつた。粉末度の小さい石灰石粉や分散材を混和すると水の上昇が減じ、特にペントナイト粉をいれると水の上昇が非常に減少した。AE 材では思ったほど効果がなかつた（抄訳者註：多分空気あまりはいつていなかつたのであろう）。しかし、高炉セメントや石灰石粉を用いた場合流動性がわるくなつていないことに留意しなければならない。流動性を一定にしておくとき水セメント比というものが水の上昇に対しきわめて大きな影響をもっている。ターボミキサーで 7.5 分練り混ぜると流動性が小さくならないで水の上昇が減少する。またボルトランドセメントと石英粉、石灰石粉、分散材を混和し、ターボミキサーで練り混ぜると流動性が小さくならないで——いやむしろ大きくなつてしかも水の上昇が顕著に減少した（これは実用上重要な発見であろう）。

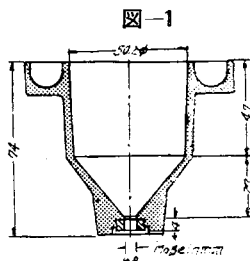
d) 収縮と強度：水セメント比が小さいほど望ましい結果の得られたこと、ターボミキサーによる練り混ぜが一般に望ましくない影響を与えていることを指摘しておくにとどめる。

結論のうちでは水セメント比を小さくすることの重要性が指摘され、特に PC 鋼線周囲への注入にさいしてはこのことが特に大事であることが強調されている。最後に注入に関する最近の文献を列記しておく。

(1) Admixtures for concrete, ACI Oct. 1954, ACI Committee 212.

(2) Properties of heavy concrete made with Barite aggregate, ACI Sept. 1954 L.P. Witte & J.E. Backstrom.

(3) Injektions verfahren als Baumethode (Erfahrungen mit Zement-und Kolloidzement-Injektionen), Schweizerische Bauzeitung, Sept. 1953, E. Maag & A. Brun.



(4) プレバクトコンクリート：三浦一郎，新材料と新工法（土木学会）1954.

(鉄道技術研究所 樋口芳朗)

一次匍匐が柱の座屈に及ぼす影響

By F.K.G. Odqvist

Journal of Applied Mechanics, Sept. 1954

前に N.J. Hoff¹⁾ が断面積がそれぞれ A/2 のフランジから成る理想的な I 断面の柱が両端支持された場合の、匍匐座屈を論じた。そこではいわゆる二次匍匐だけを考へてそれに対して材料は Norton の巾指数則 (dε/dt = kσ^n) に従うとした。本論文では Hoff の式を一般化して一次匍匐まで含ませた。かくて単軸可変応力 σ のもとで全匍匐率は

dε/dt = k_0 σ^{n_0-1} (dσ/dt) + k σ^n (1)

ここで、k_0, n_0, k は温度だけによる常数である。n > n_0 なる規則は常に成立つ、上式で k_0 = 0 としたものが Hoff の仮定となる。温度 200°C のアルミニウム合金に対しては n_0 = 2, n = 3 とすると (1) は十分な精度を与える。また (1) 式は全歪量 ε が 10^{-3} < ε < 10^{-2} の程度で正しいと考えられる。(1) の右辺の第一項は結晶粒子間の迂り変形に相当するものであり、第二項は粘性匍匐を表わす。このために (1) 式は以下の制限を受ける。すなわち全変形を通じ dε/dt が同符号である場合のみ (1) は正しく、もしも dε/dt が符号を変えるなら (1) の第一項 (迂り項) は非回復なるため、これを省略せねばならない。三次元で云えば、塑性仕事 (これは偏差応力テンソルと匍匐率テンソルのスカラー積で表わされる) が一次匍匐が残留するために正值をとらねばならぬという事情にあたる。

ここで考へる座屈問題では圧縮に関するかぎり σ, ε は正とみなせて、いま柱が時刻 t = 0 で定荷重 P でおされ曲げモーメント M 及びたわみ y を生じたとすると、

P = (σ_c + σ_t) × (A/2), M = Py = (σ_c - σ_t) × (Ah/4) (2)

ここで h は両フランジ間の距離、また添字 c 及び t は柱の凹側及び凸側を表わす。前に述べたことから dε_c/dt は (1) の迂り項を含むべく dε_t/dt は含んではならない。そうするとハリの曲げに関する Bernoulli の仮定から

(dε_t/dt) - (dε_c/dt) = h(∂^3 y / ∂ t ∂ x^2) (3)

をうる。いま無次元量

w = 2y/h, π x/L = ζ (4)

を導入する。(L: 柱の長さ)、さらに無次元常数なる

π = 2k(L/π h)^2 (P/A)^n, A = 2k_0(L/π h)^2 (P/A)^{n_0} (5)

を用いると (1), (2), (3), (4) 式から柱のたわみについての単一式

∂^4 w / ∂ ζ^4 = -A(1+w)^{n_0-1} ∂ w / ∂ t + π [(1-w)^n - (1+w)^n] (6)

が導かれる。A = 0 (k_0 = 0) ならば (6) は Hoff の式となる。簡単な場合としてアルミニウム合金に用いられるところの n_0 = 2, n = 3 を取扱うため w = a(t) sin ζ として (6) に入れ Fourier 級数の第一項だけ残すと両端支持の境界条件が満たされ、かつ a(t) に関する常微分方程式をうる。これを初期条件 t = 0; a = a_0 (a_0: 初期たわみの最大値) のもとで解くと

3 π/2 t = (1-A)/8 log (a^2/a_0^2) × (4+a_0^2)/(4+a^2) - (4A/3π) tan^{-1} (2(a-a_0)/(4+a_0)) (7)

となり、これは Hoff の解を拡張したものである。A = 0 なる Hoff の場合にくらべ同じ a_0 に対して (7) の与える a(t) の方が大きくなることは明瞭である。

1) "Buckling & Stability" N.J. Hoff

Journal of the Royal Aeronautical Society, Jan. 1954. (東京大学工学部 山口栢樹)

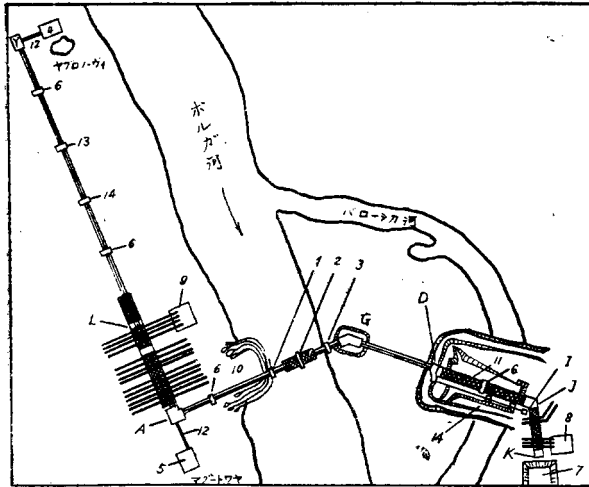
クイビシェフ水力発電建設の索道

Механизация Трудовых и Тяжелых Работ

1953 年 8 月号より

ボルガ河クイビシェフ発電所にはボルガ河本流にアースダムを築きその派川ボロシカ河にコンクリートダムが建設される。この両ダムに使用されるコンクリートはボルガ河左右岸の 10 カ所のコンクリートプラント群から供給されるが、その量は砂利約 500 万 m^3, 砂 300 万 m^3 の多量に及ぶものであり、その他堤体充填用として約 200 万 m^3 の粗石、砂利が必要である。これらの多量の石材を採石場からコンクリートプラント現場へと運搬するためには種々試案の結果索道によることに決定され、連邦工業トラスト (技師長 K.L. クールピッチ) によつて計画が立てられた。その経路は 図-1 のごとくである。砂はボルガ本流と派川ボロシカ河の中間の島からポンプ渡漕機によつて左岸の時砂場に運ばれ、そこから索道によつて左右岸のコンクリートプラントに供給される。石、砂利の大部分はヤブラノーヴィ溪谷の採石場 Y から 3 本の索道で運搬され、この 3 本のうち 1 本は右岸のコンクリートプラント群 (9) の専用で他の 2 本がこれらのプラント群を経てマグートワヤ碎石工場 (5) の下の積込場 A から対岸に達している。A station ではさらにもう 1 本の索

図-1



道が加えられマゴートワヤ山から左岸へ粗石、砂利を運搬するようになっている。これら A station から出た 3本の索道はボルガ河を通り、ダムサイトを越えて対岸のコンクリートプラント群に達している。

ボルガ河上の索道は舟航をさまたげないこと、また水中塔の製作の困難なことなどのため、最終案では河道の中央に水面より高さ 68 m の塔 1 基を設け 530 m づつ 2 径間で渡るようになっている。この計画では索道の運搬能力は 1 本につき 180 t/h である。索道の全長は 32.5 km、バケットの容量は 1.15 m³ 1 時間索道、1 本につき 106 のバケットが送られることになっている。バケットの速度はコンクリートプラント付近は 1.6 m/sec、他の部分では 2.5 m/sec である。この索道の全系統は Y-L、L-A、A-D、D-K、D-I の 5 区間に分けられ各区間ごとに駆動輪を別にしてある。すなわち Y-L 間は L station、L-A 間は A station その他の 3 区間は D station に集中された駆動輪で駆動されている。各 station 間は電話、信号、無線等によつて連絡され、D station からの指令によつて運転されている。全長にわたつて 225 基の塔が配置され、主索を緊張させるため 16 カ所の tensioning station, anchorage station が設けられている。ボルガ河上の索道はレニングラードのモロトフ工場で作製されたもので 55 mm のケーブルを使用している。

索道が工事現場、鉄道、道路、クレン、等の上を過ぎる所では主索の下に安全網が張られている。またその他ボルガ河のダムが着工されるまでは舟航を妨げないように同様な安全網が張られている。この網は径 51 mm のケーブル 14 本で支えられている。碎石工場 (4) (5) で作られた砂利はベルトコンベヤーでそれ

ぞれ Y, A station に運ばれてバンカーに入り、バンカーで自動的にバケットに積込むようになっている。

A station の機能は複雑で、ここには L station から来る 2 本の索道とボルガ河を渡つて対岸に向う 3 本の索道が集つている。後者の線は往路で粗石あるいは砂利を積み復路では左岸の貯砂場から砂を運び A station で停止せずに右岸のコンクリートプラント群に達する。またこの A station には修理工場が配置されている。バケットは停止することなく、また曳索から離れることなく自動的に反転するようになっている。

索道工事が完成すれば材料輸送が本格的に開始される。ボルガ河の索道ではアースダムの充填用として石材等が運ばれるが投入現場では 30~60 m の上空から石材を落すようになっている。従つてその区間では荷卸しのとき相当な振動が予想され、またハンガーレール等の方法がとれないしかつまたこのような方法をとつた実例がなかつたので、特にこの反転の方法は研究が行われ独特なバケット反転装置が考案された。この装置は支索に取付けられ 3~4 時間ごとに河岸の anchorage station から手動ウインチで 2~3 m づつ動かされる。すなわちバケットはこの装置にあつて反転し荷を落すわけであるが、この装置が 3~4 時間ごとに河心に向つて 2~3 m づつ移動するので材料の落下地点がそれだけづつ移動するわけである。

一般に索道の建設は直径 250~300 mm の tube で作られたデリッククレーン、手動あるいは電動クレーン等で組立てられているがここではすべて、crawler type あるいは自動車クレーンによつて行われた。すなわち高さ 12 m までの塔は 5 トン自動車クレーン Yanvaretz によつて、25 m までのものは 0.5 m³ のエキスカバータ Kovrovetz にアタッチされたクレーンによつて、25 m 以上の塔は 1 m³ エキスカバータ Voronejtz にアタッチされたクレーン、特に大型な塔は 3 m³ エキスカバータにアタッチされたクレーンによつて組立てられた。ただしボルガ河中央の塔は河底から 77 m、全属部分 55 m に及ぶものであるから巻上能力 5 t の 60 m ボンツークレーンと 600 t の鋼製の舁によつて組立てられている。この塔のアバットは高さ 26.5 m で大型橋梁の橋脚のような形になっている。アバットの建設は 1953 年の夏に終り、ひきつづき塔の建設が行われることになっている。1953 年 8 月現在で A station 建設中である。

(建設省河川局 金屋敷忠儀)