

リフトアップ工法の活用—重油燃焼塔の建設工事
Der Bauingenieur/林 静男・訳
 繰り返し荷重を受けるコンクリート構造物の設計に対する検討 *Jour. of A.C.I.*/古沢広道・訳
 コンクリート箱桁橋の解析における有限帯板法の実用 *Proc. of I.C.E.*/森光康夫・訳
 進行波による波形粗面上の質量輸送
Jour. of Marine Research/藤崎治男・訳
 凍結工法の応用 *Die Bautechnik*/青鹿勝之・訳

リフトアップ工法の活用

—重油燃焼塔の建設工事—

“Eine GroÙanwendung der Hubtechnik beim Bau eines Kesselhausturmes”

Nußbaumer, H., Hampl, P., und Jaksche, G.

Der Bauingenieur, Vol. 49, No. 1, pp. 11~20, January (1974)

(1) はじめに

本報告書は、1972年ウィーン市（オーストリア）に建設された火力発電所の重油燃焼塔の施工で採用されたリフトアップ工法の設計施工に関するものである。構造図を 図-1 に示す。設計施工法の検討はオーストリアの SIEMENS 社が担当し、図-2 に示す 3 案の比較検討の結果、工期短縮ならびに経済性において C 案が優れているとの結論に達し採用された。塔柱および煙突は各案ともに移動型枠による鉄筋コンクリート構造である。

(2) リフトアップ設備

頭部結構桁は自重軽減の目的で格子構造とし、軽量コンクリートが採用された。その結果、コンクリート比重の変動を考えた躯体重量、吊上諸設備、煙突基部および煙突用移動型枠等の重量合計は 1450 t となった。

一方、最大吊上能力は、70 t/台の油圧ジャッキを片列 13 台、合計 26 台設置し、1820 t を用意した。すべてのジャッキを 1 台のポンプにより、集中制御することにより、ジャッキ負荷のばらつきが防止された。

リフトアップ設備は頭部結構桁に埋設された BBRV 鋼線 (ST 150/170, 3 m+9 @ 7 m=66 m, カップリング結合), その上部に連結された 2 本の吊上鋼棒および油圧ジャッキと上下 2 段のグリップ機構から成り立っており、26 セットが使用された (図-3, 4)。

両側塔柱内間隔と頭部結構桁長とは 60 cm の差を持たせ、塔柱鉛直施工誤差および吊上荷重の作用による塔の

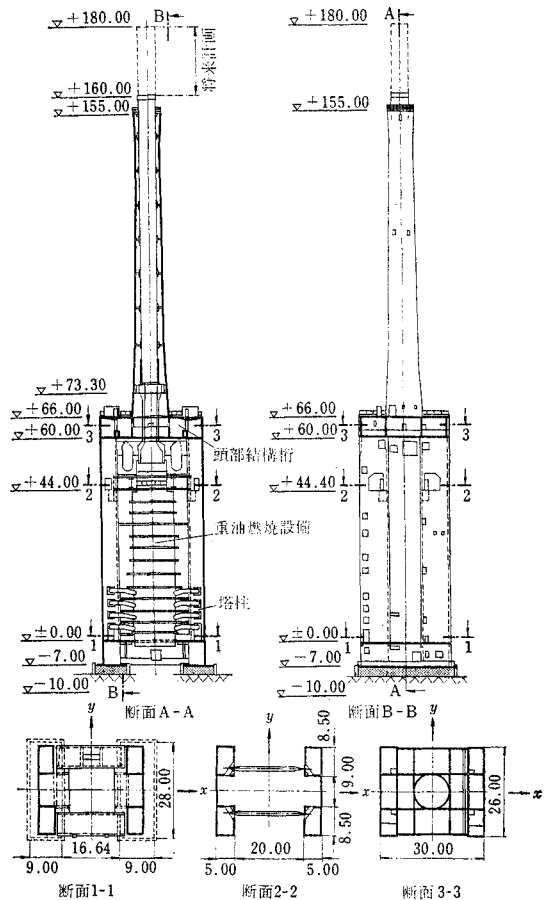


図-1

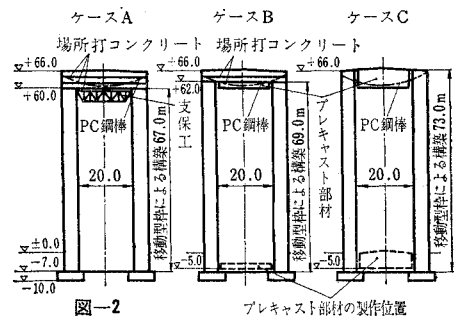


図-2

傾斜による内間隔の減少を考えても最終結合用間詰コンクリート厚が確保できるように計画した。吊上作業中は頭部結構桁に取り付けた誘導車輪をばねで塔柱壁に押しつけることにより吊上部材の動揺を防止した。

(3) リフトアップ手順

油圧ジャッキの揚程は 28 cm/回 (速度 6.35 mm/sec)

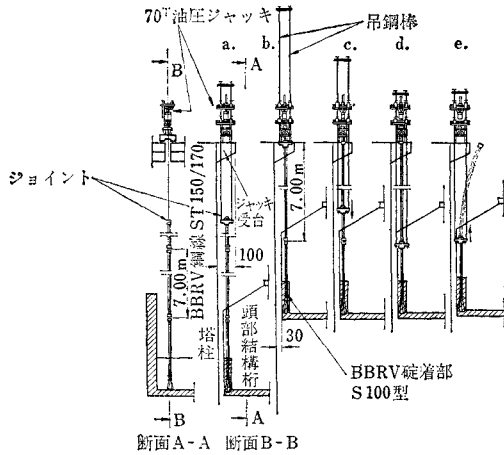


図-3

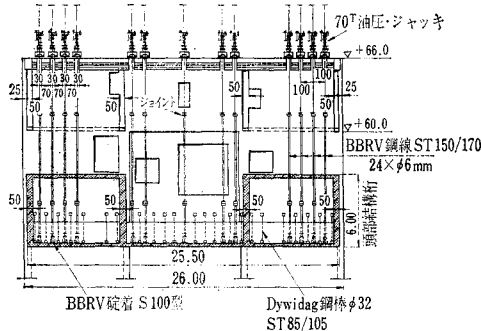


図-4

であり、図-3 に示した手順の繰返しにより所定の位置まで吊り上げられた。作業は10日間で完了した。

- a: 油圧ジャッキ、2本の吊鋼棒および上下2段のグリップを用い28cm吊り上げるごとにジャッキを盛替え、連続して7.0m吊り上げる。
- b: 荷重をBBRV鋼線により、塔柱側面に突き出しているジャッキ受台に仮受し、吊鋼棒とBBRV鋼線のジョイントを解放する。
- c: 上下2段のグリップをゆるめ吊鋼棒を下げる。
- d: 次のBBRV鋼線と吊鋼棒をジョイントする。
- e: 不用になったBBRV鋼線を取りはずす。

a~eの作業を繰返し、頭部結構桁を所定の高さまで吊り上げ、Dywidag鋼棒(φ32mm, 48本)により本吊り作業を行い、水平方向PC鋼棒を配置し、間詰コンクリートを打設後、プレストレスを導入して一体構造として完成された。吊上げ作業は各段階ともスムーズに行え、計画どおりであった。

(4) まとめ

移動式型枠工法とリフトアップ工法の活用により迅速かつ、経済的な施工が可能であった。本構造物の工事経

験から、頭部結構桁のプレファブriketは移動型枠による塔柱施工開始前に完了した方が有利であると思われる。すなわち、① 上下作業による作業場の危険がなくなる。② 頭部結構桁の製作に際し作業空間が広がるので、PC鋼棒等の配列作業が楽になる。

上下作業の危険性をさける目的から考えると、頭部結構桁の製作を塔柱の外側で行い、吊上げ直前に定位置に移動する方法、あるいは、製作ヤードの上に防護屋根の設置等の方法があるが、今回の施工にあたっては詳細に比較検討はしなかった。

繰返し荷重を受けるコンクリート構造物の設計に対する検討

“Considerations for Design of Concrete Structures Subject to Fatigue Loading”
A.C.I. Committee
Journal of American Concrete Institute, Vol. 71,
No. 73, pp. 97~122, March (1974)

(1) 概要

本報告は、疲労荷重を受けるコンクリート構造物の設計に対する手引きとして役立つと考えられる情報を与えることを目的としている。第2章では、コンクリートおよび、補強材料の疲労強度に関する情報を紹介し、第3章では、ビームや舗装に使用されるコンクリートや、補強部材に関する情報の適用性を論じている。

(2) 構成材料の疲労特性

コンクリート、補強部材、プレストレスング tendon の疲労特性が設計に役立つようなグラフや、数式の形で示されているが、これは、種々の荷重条件のもとでの異なった試験体の結果にもとづくものであることに注意しなければならない。

a) Plain concrete

応力振幅の疲労強度におよぼす効果が、応力疲労履歴曲線(S-N, カーブ)によって図-1に示されている。

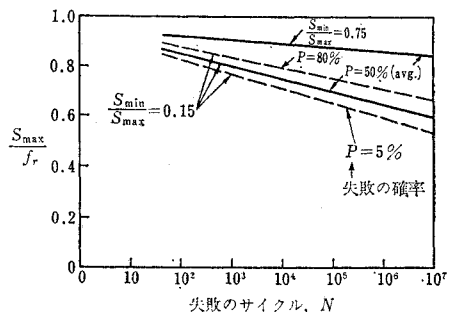


図-1 プレコンクリートはりの疲労強度

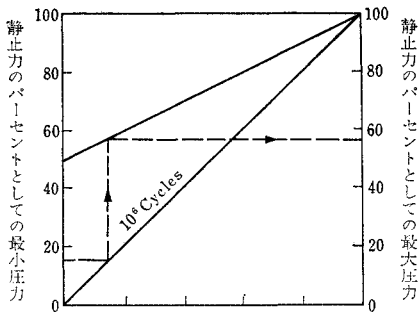


図-2 引張り、圧縮、曲りにおけるプレーン
コンクリートの疲労強度

これは、スパン 60 cm の 3 点に、毎秒 450 サイクルの割合で載荷した 6×6 in の Plain concrete beam の試験結果から得られたものである。28 日圧縮強度 5 000 psi, $W/C=0.52$, 試験体の材令は、150~300 日であった。 S_{max} は、計算された曲げ引張応力度であり、静的強度は、割裂応力 f_r である。曲線 a と c は、サイクル数の増加とともに、コンクリートの疲労強度が減少していることを示している。応力振幅の影響が、図-1 の曲線 a と c との比較からみられる。これらの曲線は、最小が最大の 75% ないし 15% に等しい範囲の荷重をもった試験から得られている。最大荷重、最小荷重間の振幅の減少が、与えられたサイクル数に対して、疲労強度を増加させることが分る。曲線 a と c は、平均破壊確率 50%, b は 80%, d は 5% を示している。疲労に対する設計は、修正 Goodman diagram を用いて簡略化される(図-2)。この図は、Plain concrete の疲労強度は、荷重モードが、引張り、圧縮、曲げ、にかかわらず本質的に同じであるという上になりたっている。荷重履歴に関しては、最大応力の異なった値の効果をおおよそ評価するのに、一定の応力下での試験に、マイナーの仮定を適用する。この法則によると、破壊は、 $\sum n_r/N_r=1$ の時におこる。ここで、 n_r は、ある特殊な応力状態のもとでのサイクル数、 N_r は、同様の応力状態で、破壊を生ずるであろうサイクル数である。高応力レベルでは、荷重速度が大きく影響する。セメント容量、水セメント比、養生条件、載荷時の材令、エントレインドエアーの量、骨材の種類等、静的強度に影響をおよぼす材料の品質は、疲労強度にも影響をおよぼす。応力勾配も、コンクリートの疲労強度に影響がある。疲労きれつは、内部のクラックが発達し、さらに、硬化したセメントペーストの空隙構造に変化がおこって生ずるようである。

b) 鉄筋

この節で述べられている主要要素は、(1) 最小応力、(2) 部材寸法およびビームの形状、(3) 変形の幾何学、(4) 降伏強度および引張強度、(5) 曲げ、(6) 溶接、で

表-1 鉄筋寸法の効果

試験報告	鉄筋の勾配	鉄筋 No. 8 の疲労強度に 関係する疲労強度			
		No. 5	No. 6	No. 8	No. 10
Reference 28	40	1.06	—	1.00	0.99
	60	1.08	—	1.00	0.96
	75	1.20	—	1.00	0.95
Reference 32	40	1.11	—	1.00	—
	40	1.05	—	1.00	—
	60	1.05	—	1.00	—
	75	1.10	—	1.00	—
Reference 36	40	—	1.12	1.00	—
	60	—	1.04	1.00	—
	60	—	1.10	1.00	—

ある。いくつかの研究によれば、鉄筋の疲労強度は、最小応力レベルに比較的無関係であることが報告されている。鉄筋寸法の効果は、表-1 に示されている。鉄筋は、みな同じ製品で、同じ最小応力レベルで試験され、疲労強度は、200 万以上のサイクルで破壊を引き起こすような応力振幅である。Reference 32 は、軸引張力を受ける鉄筋、Reference 28 は、コンクリートビーム中の鉄筋に関してのものである。

(3) ビームおよび舗装の疲労

1) 疲労における安全性に対する設計上のチェックは、次の 3 つの段階を必要としている。

① 構造部材に対する荷重ヒストグラムの投影図。

② 疲労に対する安全性がもっとも critical になる位置の選択。

③ critical な設計疲労応力の決定と、これらの応力と許容値との比較。

a) Nonprestressed members

この議論の中で、ノンプレストレスト部材は、ASTM A 615-68 の要求にあった、熱間圧延異形鋼棒で補強されたコンクリートビームに制限される。コンクリートと補強材の曲げ応力は、ACI 318-71 の 8.10.1 節の各項に従って計算される。そして、これらの応力が、疲労に対する安全性の検討を必要とするか、否かの決定規準としては、委員会は、次の基準をつかうことをすすめている。

① コンクリート中の応力範囲は、最小応力が 0 のとき、圧縮強度の 40% をこえないか、最小応力と同様、直線的に減じられた応力範囲が増加し、その結果、許容応力範囲は、最小応力 $0.75 f_c'$ のとき 0 である。

② まっすぐな異形鉄筋中の応力振幅が、降伏強度の 40% に達する最小応力レベルで、しかも、20 000 psi をこえないか、または、スターラップ等の補助鉄筋が、

点溶接されている曲げあげ鉄筋や主鉄筋中の降伏強度の総計の1/2である場合。

b) Prestressed member

補強材の少なくとも40%プレストレスされているより線ワイヤー、PC鋼棒により補強されたコンクリートビームに限り論ぜられている。

2) 舗装

空港やハイウェイのポルトランドセメントコンクリート舗装は、交通や周期的な環境条件により生じた繰返し荷重を受けている。ハイウェイは、Portland Cement Association (PCA) 方法か、American Association of State Highway Officials (AASHTO) 方法により設計する。空港に対しては、Corps of Engineers 方法により設計する。

コンクリート箱桁橋の解析における有限帯板法の応用

“Application of the Finite Strip Method in the Analysis of Concrete Box Bridges”
Cusens, A.R. and Loo, Y.C.
Proc. of the Institution of Civil Engineers,
Vol. 57, Part 2, pp. 251~273, June (1974)

(1) はじめに

最近、橋床の解析にも有限要素法や格子解析法が応用されるようになったが、両者とも適用範囲が広い半面、いくつかの欠点を持っている。すなわち、有限要素法は解析法として強力でその自由度も大きい、3次元問題に適用するとなると費用がかさみ、一方格子解析法は経済的ではあるものの細部の応力を求めるには不適當である。これらに対し、有限帯板法 (F.S.M., Finite Strip Method) は有限要素法を簡単化したもので、対象範囲が限定されてはいるが重要な問題に適用することができる。本論文ではコンクリート箱桁橋の解析への F.S.M. の利用について著者らの経験が整理され、この方法の融通性、特長が強調されている。

(2) 有限帯板法 (F.S.M.)

F.S.M. は有限要素法の“変位法”に類似しているが、変位を仮定する際、橋軸方向 (y 方向) とこれに直角方向 (x 方向) の2方向にわたって多項式で仮定するのではなく、橋軸方向は調和関数で表示する。すなわち、単純支持の箱型構造の場合、曲げによる上下方向の変位 w, 面内応力による x, y 方向の変位 u, v は次式で仮定される。

$$w = \sum_{m=1}^N (A + Bx + Cx^2 + \dots) \sin \frac{m\pi y}{a} \dots (1)$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \sum_{m=1}^N (D + Ex + Fx^2 + \dots) \begin{bmatrix} \sin \frac{m\pi y}{a} \\ \cos \frac{m\pi y}{a} \end{bmatrix} \dots (2)$$

構造系全体の剛性マトリックスを {S} とすれば、作用力は式 (3) で表わされる。式 (1), (2) をこれに代入すれば、正弦関数の直交性により、N 個の方程式 (4) に分解される。

$$[S] \{w\} = \{F\} \dots (3)$$

$$[S_m] \{w_m\} = \{F_m\} \quad m=1, 2, \dots, N \dots (4)$$

ここに、[S_m], {w_m}, {F_m} は m 番目の調和関数に対する剛性および力のマトリックスで、{w_m} はこの調和関数に対応した変位である。式 (4) を {w_m} について解けば、m 番目の調和関数に関係する諸変位、内部応力は通常の有限要素法と同じようにして求まる。

従来、折板理論や F.S.M. ではプレストレス力の解析は、同一軸上に作用する対になった力に対してのみ可能であったが、力のマトリックスを修正することによって、このような制限もなくなった。たとえば、図-1 のような曲線形状の PC ケーブルによるプレストレス荷重

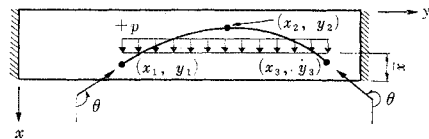


図-1 曲線ポストテンションケーブルによる力

の解析も可能となった。同図の場合、ケーブル曲線は放物線で仮定でき、プレストレスによる分布応力は

$$p = T \theta_1 / (y_3 - y_1) \dots (5)$$

となる。ここに、T はプレストレス力、θ₁ は (x₁, y₁) と (x₃, y₃) におけるケーブル勾配の差である。この荷重を $\bar{x} = (x_1 + x_2 + x_3) / 3$ の水平線上に作用させると、上下方向の面内応力には若干局部的の差異が生ずるが、橋軸方向応力の分布は正確に求まる。

(3) F.S.M. の検定

F.S.M. プログラムをチェックするため、2種類の模型について実験結果と計算結果との比較を行った。一つは6セルからなる Perspex 橋模型の中央部に集中荷重を載せたケースである。結果ではたわみ、ひずみともに両者が良好な一致を示したが、中間支承上近辺での精度を上げるには、75個以上の調和関数が必要である。別の模型では集中荷重近傍のスラブの局部的の曲げモーメントに対する検定が行われ、調和関数を増すに従い、たわみ、ひずみが測定値に収束していくことが示された。プレストレス力に対する F.S.M. の検定も単純支持したディーブームについて行ったが、図-2 に示すようにその

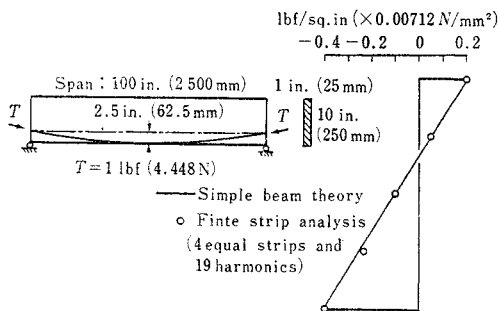


図-2 曲線ポストテンションケーブルによるデ
ィープ ビーム中央の面内応力分布

結果は良好である。

(4) F.S.M. の応用

プレキャストのPC箱桁を横方向に多数接続したマルチビーム橋の解析に F.S.M. を応用した結果特に次の2点においてこの方法が効力を発揮することがわかった。

1) プレキャストと場所打ちコンクリートの接合部での等価剛性の評価。

2) HB 荷重による床版の局部モーメントの計算。

このほか、場所打ちRC中空スラブ橋の解析が引張り例のクラックを考慮して行われ、また多径間箱桁橋である Queen's Drive Viaduct を対象として各施工段階でのプレストレス力の効果等の解析が行われた。

(5) 結 論

1) F.S.M. が曲線PCケーブルによる多径間連続橋の応力解析に拡張利用されこれにより多径間連続橋のある種の問題が中型計算機で安価にできることになった。

2) F.S.M. は、プレキャストのプレテンション箱桁で作られるマルチビーム橋の解析、クラックの影響を考慮したRC中空スラブ橋の解析に有効である。

3) 橋軸方向面内応力解析に F.S.M. を用いたときの精度、箱桁橋の局部的曲げモーメント算定への F.S.M. の適用性を検討するため、2つの箱桁橋模型についても解析が行われ実験結果との比較がなされた。

進行波による波型粗面上の質量輸送

"Mass Transport Over a Rough Bed"

Sleath, J.F.A.

Journal of Marine Research, Vol. 32, No. 1, pp. 13-24, January (1974)

本論文では、波型粗面上を表面波が進行するとき(表面波の波長が非常に長い場合を除けば)滑面に比べて質量輸送速度が増加し、砂漣の背後に独立な循環が生じること、またこれにより砂漣の形成の初期の機構を説明し

うることを示した。

1) 運動方程式と境界条件: x - y 軸を次のような cosine 型の波曲を表わす直交曲線座標に直す。

$$\xi = x + a \exp(-ky) \sin kx$$

$$\eta = y - a \exp(-ky) \cos kx$$

k は粗面の波数である。

このとき渦度の方程式は ψ (=流関数) に関して、

$$\frac{\partial(D^2\psi)}{\partial t} \frac{\partial(\psi, JD^2\psi)}{\partial(\xi, \eta)} = \nu D^2(JD^2\psi) \dots\dots\dots(1)$$

$$J = 1 + 2ak \exp(-ky) \cos kx + (ak \exp(-ky))^2$$

$$D^2\psi = \frac{\partial^2\psi}{\partial\xi^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial\eta^2}$$

である。また ξ と η 方向の流速は、

$$u = J^{1/2} \frac{\partial\psi}{\partial\eta}, \quad v = -J^{1/2} \frac{\partial\psi}{\partial\xi}$$

さて、流関数 ψ を微小パラメーター ε (= u / (波の周波数 \times 長さ)) により次のように表わす。

$$\psi = \varepsilon\psi_1 + \varepsilon^2\psi_2 + \varepsilon^3\psi_3 + \dots \dots\dots(2)$$

さらに $ak \ll 1$ を仮定して次のように表わす。

$$\psi_r = \psi_{r0} + (ak)\psi_{r1} + (ak)^2\psi_{r2} + \dots \dots\dots(3)$$

($r=1, 2, 3, \dots$)

式(2)および式(3)を式(1)に代入して、 ak の order で分けると、

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(D^2\psi_{r0}) + \sum_{n=1}^{r-1} \frac{\partial(\psi_{r-n,0}, D^2\psi_{n0})}{\partial(\eta, \xi)} \\ = \nu D^2(D^2\psi_{r0}) \\ \frac{\partial}{\partial t}(D^2\psi_{r1}) + \sum \left[\frac{\partial(\psi_{r-n,0}, D^2\psi_{n1})}{\partial(\eta, \xi)} + \dots \right] \\ + \nu D^2(D^2\psi_{r1} + \dots) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

なお、境界層の外側での流速を次のように仮定する。

$$u_\infty = u_{\infty 0} + u_{\infty 1} \cos(\omega t - b\xi) + u_{\infty 2} \cos 2(\omega t - b\xi) + \dots$$

ψ が求まるとき質量輸送速度は次式より計算される。

$$\bar{U} = J^{1/2} \left[\left(\frac{\partial\psi_2}{\partial\eta} \right) + \frac{\partial}{\partial\xi} \left(\frac{J\partial\psi_1}{\partial\eta} \right) \right] \int \frac{\partial\psi_1}{\partial\eta} dt - \frac{\partial}{\partial\eta} \left(\frac{J\partial\psi_1}{\partial\eta} \right) \int \frac{\partial\psi_1}{\partial\xi} dt \Bigg|_{0,0} \dots\dots\dots(5)$$

これは時間平均で、さらに一波長分の平均をとる。

$$\int_0^{2\pi/k} (\bar{U}/J^{1/2}) d\xi \dots\dots\dots(6)$$

さて、式(4)の第一式よりまず滑面の場合の解である $\varepsilon\psi_{10}$ が求まる。これを式(4)に代入することにより、 $\varepsilon\psi_{11}$ 等が求まるが、式(4)から式(5)をとることにより ε の order はすべて 0 になる。時間に独立な項をもつ最小次数のものは ψ_{20} で、式(5)より

$$\bar{U}_{20} = u_{\infty 1} b/4 \omega (5 - 8 \cos \beta\eta \exp(-\beta\eta) + 3 \exp(-2\beta\eta))$$

これは Longuet-Higgins が求めた滑面の場合の質量輸送速度である。さらに ψ_{21} から得られる時間に独立な項は、

$$\bar{U}_{21} = ak u_{\infty}^2 \beta \sin k \xi / 4 \omega d \cdot f(\eta) \dots \dots \dots (7)$$

ただし $f(\eta)$ は原論文に示してある。式 (7) は ξ について周期性をもち、式 (6) により 0 となる。次の解 ψ_{22} より質量輸送速度 \bar{U}_{22} が得られる。これが粗面による質量輸送速度である。 \bar{U}_{22} の分布を 図-1 に示す。

上述のように \bar{U}_{21} は砂漣の一波長で平均すると 0 になるが、もし $\beta ak/b$ が大きいと \bar{U}_{21} が \bar{U}_{20} より大きくなり、図-2 のような流線ができる。これによると、砂漣の前面に上昇流があり、砂漣の背後に循環流があって逆向きの上昇流がみられる。この流れが固体粒子を運ぶとすれば、砂漣の形成の初期の機構を説明しているものと思われる。

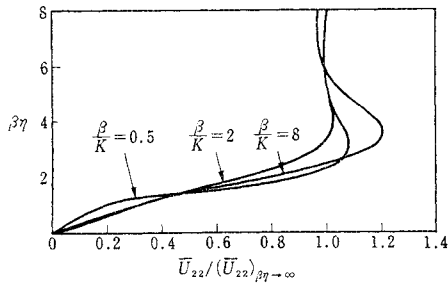


図-1 \bar{U}_{22} の分布

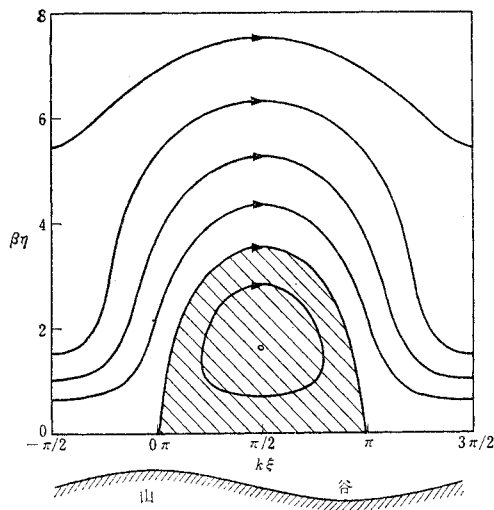


図-2 質量輸送速度の流線 ($\beta ak/b=50, \beta/k=2$)

凍結工法の応用

“Anwendung des Gefrierfahrens”
 Jessberger, H.L. und Nußbaumer, M.
 Die Bautechnik, Vol. 50, No. 12, pp. 414~420,
 December (1973)

(1) はじめに

凍結工法はとくにトンネル工に利用されるなどして、最近とみに重要性をましている。本文は凍結工法の重要な問題点と現行技術を紹介し議論に供するものである。問題のうち施工方法の確立、凍土の強度特性の解明、凍上量の推定などが重要になる。

(2) 応用例

鉱山ではすでに 90 年来 100 m 以上の深さの凍結立坑は珍らしくなく、これが今日の凍結工法の技術的基盤を与えた。凍結工法の第一の応用例は凍結ウエルである。

図-1 はミュンヘンの改築工事に用いられた内径 1.5 m の凍結ウエルで、30~39 m 長の冷凍管が打ち込まれている。その底部は内径 3~4 m に拡大され、本来の基礎が設置された。この工法によりロンドン近郊では LNG 地下タンクも建設されている。

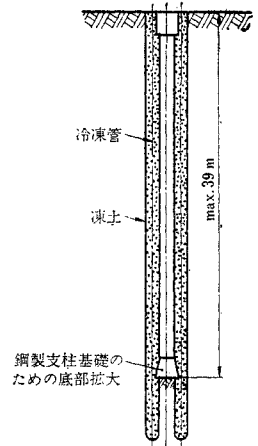


図-1 鋼製支柱設置のための凍結立坑

第二の応用例に根切りがあげられる。凍土壁は止水壁としての働きもする。しかし、地下水流が早い場合には上流側の凍土が成長しないため、凍土壁が閉じなくなる。過去の施工例でも地下水流対策に苦心が払われている。

第三に立坑およびトンネル建設における応用が考えられる。トンネルは立坑から水平に押し込まれた冷凍管によって円筒状の凍土層が形成される。水平距離 40 m 程度なら十分な精度が期待できる。長いトンネルのときにはパイロットトンネルから冷凍管を垂直に、あるいはニューヨークの河底トンネルのように放射状に出して全断面の凍結を行う。

(3) 凍土の特性

凍土の特徴はクリープ現象が顕著なことである。図-2 に代表的なクリープ曲線を示す。クリープ量を決める要因は凍結温度と作用応力である。クリープ強度は近似的に時間の対数の関数として次式で表わされる。

$$\sigma_B = \beta / \log(t_B/B) \dots \dots \dots (1)$$

ここに σ_B : クリープ応力, t_B : 载荷時間, β, B : 温度定数。

クリープはまた土中の含水量によっても影響される。土の種類も大きく影響することが 図-3 に示される。

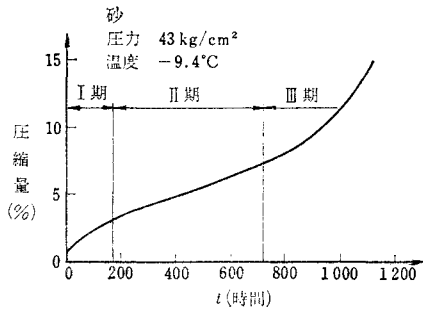


図-2 凍土の代表的なクリープ曲線(セイルズによる)

(4) 設計法

立坑や円形根切りの場合、放射状の等分布荷重を考え軸対称問題として解析されている。凍土は完全な弾塑性体とみなされ、降伏条件にはトレスカ、フォンミーゼス、クーロンなどの定理が用いられる。

長手方向にのびる凍土壁は重力式構造物として設計されている。トンネル工の場合、変形量を算定するときのヤング率は大略コンクリートの1/100とみなされる。トンネル掘削開始時から終了時まで、ヤング率は当初の0.5~0.8に落ちるといわれている。

(5) 凍上

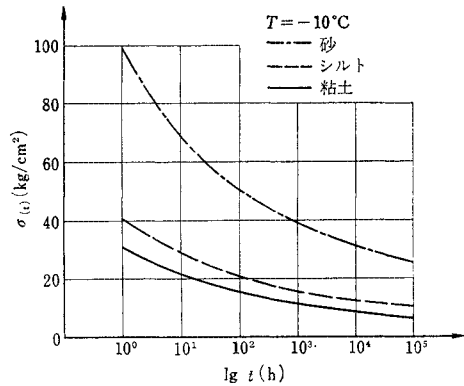


図-3 凍土の一軸圧縮強度に対する土質と時間の影響

凍結工法に伴う凍上およびその後の沈下を正確に見積り、その影響を把握しておくことが必要である。凍上は、土中の水分が氷になるときの体積膨張により生じる。実際の境界条件は凍上を一方向に限ることが多い。凍上速度は拘束圧に左右され、拘束圧が200 t/m²になると完全に拘束される。

抄訳者

林：大成建設(株)土木設計部/古沢：東京大学大学院/森 光：鹿島建設(株)技術研究所/藤崎：東京工業大学土木工学科/青鹿：日本鋼管(株)第二重工設計部

土木学会編

●セット特価＝¥33,000
12月末日限/定価¥36,000

新版

土木工学ハンドブック

刊行迫る！

コンクリート工学演習

コンクリート技士・主任技士試験問題と解答
村田二郎 監修 A 5・¥1,200

コンクリートの知識〈図解土木講座〉

小谷 昇他著 B 5・¥1,300

水災害の科学

矢野勝正 編著 A 5・¥2,800

水質汚濁 —現象と防止対策—

杉木昭典 著 B 5・¥8,500

都市交通計画

谷藤正三 著 B 5・¥6,000

建設機械用語集 〈近刊〉

日本建設機械化協会編

★図書目録送呈

技報堂

東京・港・赤坂1-3-6