

都市内の航空輸送／坂 叔男
 プレキャストコンクリート部材の接合部の設計方法について
 の提案／町田篤彦
 断面変形を考慮した曲線箱桁の近似計算／深沢泰晴
 カラチ水力発電計画／白水清志
 アースダムにおける傾斜フィルターの機構／松井家孝
 コモエ湾の防波堤岸壁／橋川 隆
 待ち時間を最少にする信号周期の決定／藤田大二

都市内の航空輸送

“Urban Planning and the New Mobility”
 Branch, M.C.
 Jour. of the American Institute of Planners
 Vol. 30 No. 1 pp. 2~9 February (1964)

アメリカ全体を通じて、市街地では道路が混雑し、道路に対して巨額の投資が行なわれているけれども、自動車の使用率は低下し、高速道路での死傷率は増加し続けている。

交通需要に追いつくために、交通系統を分析し、より良い街路網が計画され、街区の設計にも局部交通や通過交通に対して十分考慮が払われている。また、土地利用と交通の関係が研究されて都市計画の立案に利用され、エレクトロニクスも交通規制に應用されている。

アメリカの歴史において、交通は、馬車から、北東部では運河、そして鉄道、それから市街電車と自動車の時代になった。それぞれの時代の初めには、その時代の最も中心的な交通の型式を見越して、その問題が解決できるような案が考えられていた。そして、現在の自動車時代に対して、すでに道路網の建設に巨大な投資が行なわれている。

さて、われわれの都市内の交通問題にかくされてはいるが新しい問題が起っ

てきている。ヘリコプターがこの10年間に急激に増加し、その増加率は自動車の初期の増加率よりも多いのである。また、ヘリコプターに加えて、垂直離着陸機(VTOL)や短距離離着陸機(STOL)も近い将来に盛んに用いられるようになるだろう。

商業用のヘリコプターの運行は、すでに交通と



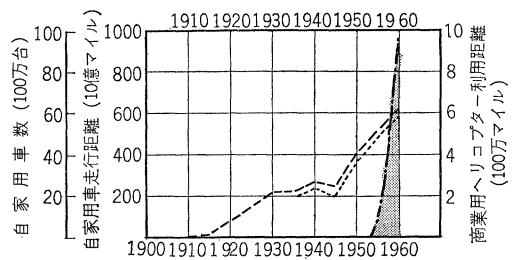
写真一

都市計画に影響を与えている。その第一はヘリポートの位置の問題である。これについては、騒音と安全性について十分に与慮しなくてはならない。つぎには、商業用ヘリコプター路線はこれからどんどん増えると思われるので、空中の飛行方式を確立することが問題となるだろう。

ヘリコプターの特性および地上の現在の土地利用および計画を考え、現在すでに研究されている地上交通と土地利用との関係を三次元にまで拡張して、将来の変動に対処できるようにしておくこと、その他、ヘリコプター営業の独占を防ぐ問題、またヘリコプター輸送が盛んになれば、ヘリコプターの駅を鉄道駅とかバスストップと同じように規制しなければならなくなるだろう。地上の交通や土地利用を乱すようなエアーストップでは禁止する必要があり、これらのエアーストップは都市計画のマスタープランにしたがって作られにべきであろう。

商業地域、ビジネスセンター、教育やリクリエーションのセンターおよび高層アパートなど、空中交通発生の多い地区の周辺にはオープンスペースが必要になり、空中交通発生の多い建物は高さが制限され、屋根は飛行の邪魔にならないような形になるだろう。小さなヘリコプターがたくさん飛ぶようになれば、現在の空港周辺の飛行規制は特に必要になるだろう。

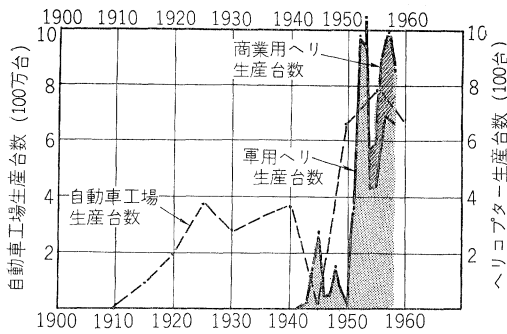
図一



このように、自動車の出現が町の形を変えたように、ヘリコプターも町の形を変えるだろう。また、ヘリコプターは都市の行政区画を越えて飛行することも多いので、連邦政府は、都市間や国内の空路を統制する一般的な規制を行なう必要がある。連邦政府は空中規制に関する権限をもっているから、都市空中交通に関する一般立法を行なって都市間の空中交通が相互に混乱しないようにしなければならない。しかし、土地利用に関する多くの問題や、増加しつつある地方空中交通に関する問題には非常な特殊性があり、市自体から離れて問題を指導することはむずかしいから、連邦政府の行なう規制は一般的なものとどめ、その個々のケースに対する適用は市自体の都市計画に任せるべきであろう。

都市計画のプランナーは、この問題が都市計画、特に土地利用などに与える影響を研究するに当たっては、交通

図-2



工学者、連邦政府や諸企業の航空輸送専門家の援助をあてにすることができ、また、オペレーションズリサーチやシステムエンジニアリングのテクニックを効果的に用いることができるであろう。連邦航空局は、大都市上空の航空のコントロールについて研究しているが、この研究の中で、人口密度や土地利用をみつつかっている部分は、急激に地方航空が増加している町の状態の開発的研究に役立つに違いない。(委員 坪 叔男)

プレキャスト コンクリート部材の接合部の設計方法についての提案

“Suggested Design of Joints Connections in Precast Structural Concrete”
 ACI-ASCE Committee 512
 Jour. of the American Concrete Institute
 Vol. 61 No. 8, pp. 921~937 August (1964)

(1) 概論

この報告書の目的は、プレキャストコンクリート構造物の部材接合部の設計方法を提案することである。以下に述べる勧告案は、どんな荷重条件でも限界応力を越えることなく、過大な荷重による破壊に対して適当な安全度をもつような接合部を設計する一助となることを目的としている。

一般に、接合部は解析が容易で、鉄筋などによる補強のしやすいところで、かつ応力集中のおこらないところにもうけるのがよく、構造物の強度が接合部の強度で支配されることがないようにしなければならない。

(2) 設計に対する考察

接合部の設計には、通常の死・活荷重のほか、風、地震、コンクリートの容積変化、などによる荷重、組み立ての荷重、脱わくときの荷重、支柱の取付け、取はずしの荷重、貯蔵、運搬のときの荷重、を考慮しなければならない。プレキャスト構造物に特有の荷重(組み立て、貯蔵などによる荷重)以外の荷重については、少なくとも ACI 318-63 に示されている荷重について考慮しなければならない。

設計応力は ACI 318-63 鉄筋コンクリート設計規準 (Building Code Requirement for Reinforced Concrete), ACI-ASCE プレキャストコンクリート規準試案 (Tentative Recommendations for Precast Concrete), AISC 建築鋼構造の設計、製作、組み立て規準 (Specifications for the Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Buildings), AWS 建築物におけるアークおよびガス溶接規準 (Standard Code for Arc and Gas Welding in Building Construction) に定められた応力を越えてはならない。接合部の極限強度係数は部材のその少なくとも 10% 増しとしなければならない。接合部の耐力の決定に際して疑問の点があるときに実験によってこれを定めるのがよい。

(3) 設計

せん断力は、延長した鉄筋(図-1)、うめこんだ鉄板(図-3)、ブラケット(図-2)、プレストレス力(図-4)などで伝達する。延長した鉄筋を用いた場合の許容せん断力は式(1)に示す値をこえてはならない。

$$V = \sqrt{(A_s f_s \cos \theta)^2 + 1.5 D^2 f_c' \sin \theta} \dots \dots (1)$$

ここに、V: 全せん断力、A_s: 鉄筋の全断面積、f_s: 鉄筋の許容応力、D: 鉄筋の直径の合計、f_c': コンクリ

図-1 延長した鉄筋

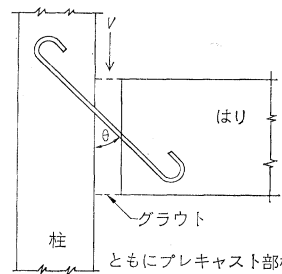
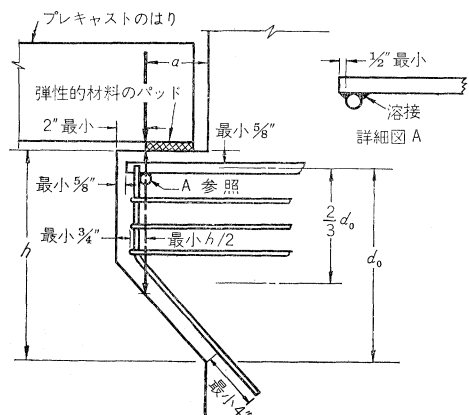


図-2 垂直荷重だけを受けるブラケット



ートの設計強度、θ: せん断力と鉄筋のなす角、である。ブラケットはせん断力を伝達するものであるが、ブラケット自身は、曲げ、せん断、支圧、割裂をうけるものであるから、設計にはこれらを考慮しなければならない。プレストレス力を導入した接合部は、せん断、モーメント、ねじり、軸力についてチェックしなければならない。モーメントは、延長した鉄筋、うめこんだ鉄板、プレ

図-3 うめこんだ鉄板

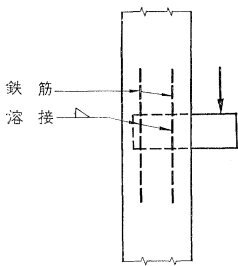


図-4 プレストレス力

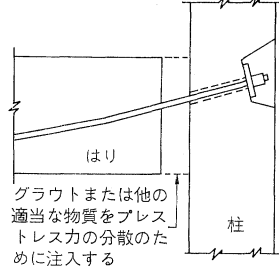
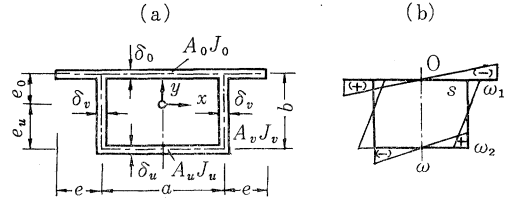


図-2



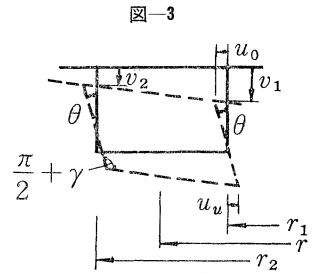
ここに、

$$\bar{S}_\omega' = S_\omega + C, \quad S_\omega = \int_0^s \omega dA, \quad C = \frac{1}{2ab} \int S_\omega h ds$$

なお、 $f=f(z)$ 、 ω は断面の反りの形状を規定する量である。()' は $z=r\phi$ による微分を意味する。

(2) 反り応力と変形との関係

図-3 に示すように、内外ウェブの鉛直変位および上下フランジの水平変位と



反り拘束による垂直応力との関係は

$$\left. \begin{aligned} \frac{r^2}{r_1^2} v_1'' + \frac{\theta}{r_1} &= -\frac{f}{Eb} (\omega_1 + \omega_2), \\ \frac{r^2}{r_2^2} v_2'' + \frac{\theta}{r_2} &= \frac{f}{Eb} (\omega_1 + \omega_2), \\ u_0'' + \frac{u_0}{r^2} &= -\frac{f}{Ea} 2\omega_1, \\ u_u'' + \frac{u_u}{r^2} &= -\frac{f}{Ea} 2\omega_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

一方、断面の角変化 r は

$$r = (v_1 - v_2)/a + (u_0 + u_u)/b \dots\dots\dots (3)$$

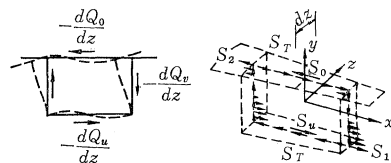
であるから、これを用いて式(2)から u, v を消去すると、きわめて簡単な次式が得られる。

$$r'' = -\frac{f}{A^*}, \quad A^* = \frac{Eab}{4(\omega_1 + \omega_2)} \dots\dots\dots (4)$$

(3) 断面の角変化の成分

断面の角変化 r はつぎのような三つの成分によって計算される。

図-4



(1) 反りせん断応力による角変化 (図-4 a):

$$r_T = \frac{W}{K} f'' \dots\dots\dots (5)$$

(2) 曲げモーメントと桁の曲率に起因する角変化

ストレス力によって伝達する。この鉄筋および鉄板は、接合部に伝達される力が偏心しないように配置しなければならない。接合部では応力集中がきけがたいから十分に鉄筋を配置する必要がある。モーメントを伝達する接合部には、建設後、コンクリートの乾燥収縮、クリープ、温度変化によって部材が収縮して大きな応力を生ずることがあるから設計に注意を要する。

軸方向引張力は、鉄筋、うめこんだ鉄板による付着力、プレストレス力によって伝達する。引張力を伝達する接合部の設計は、偏心力が加わる場合に特に注意しなければならない。

軸方向圧縮力は、無筋コンクリート、鉄筋コンクリート、うめこんだ鉄板などにより伝達する。力はなるべく偏心しないで伝達されるように注意しなければならない。

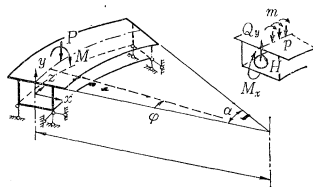
(町田篤彦)

断面変形を考慮した曲線箱桁の近似計算

“Näherungsberechnung der gekrümmten Kastenträger mit verformbarem Querschnitt”
Darbrowski, R.
Prem. Pub. 7th Cong. I.A.B.S.E., pp. 296~306 (1964)

一般に閉じた断面の場合には、反り応力は断面形状保持の仮定のもとに計算すると非常に小さい。本文は一軸対称の一箱形断面からなる曲線桁 (図-1) について、断面形状の変化を考慮して解析を行なったものである。

図-1



(1) 反り応力

まず断面の反り拘束によって生ずる垂直応力 σ_ω およびそれにとまなうせん断流 T はそれぞれ次式で表わされる (図-2)。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_\omega &= f \cdot \omega \\ T &= \tau \delta = f' \bar{S}_\omega \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

(図-4b) :

$$r_{Mx} = \rho \frac{M_x}{K r} \dots \dots \dots (6)$$

(3) ねじりモーメント荷重 m による角変化 :

$$r_m = \frac{m}{2K} \dots \dots \dots (7)$$

ここに、 W (Wölbsteifigkeit), K (Rahmensteifigkeit) および ρ はいづれも断面の形状寸法によってきまる定数。

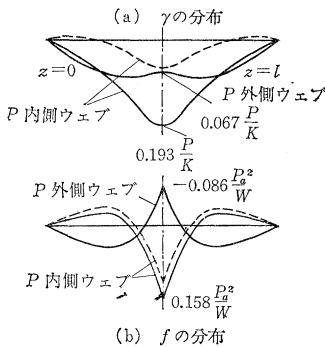
(4) 基礎方程式

断面の全角変化は $r = r_T + r_{Mx} + r_m$ であるから式(4)~(7)より r に関する基本式がつぎのように4階の微分方程式として得られる。

$$r^2 V + 4 \lambda^2 r = \frac{1}{WA^*} \left(\rho \frac{M_x}{r} + \frac{m}{2} \right), \quad \lambda = \sqrt[4]{\frac{K}{4 WA^*}} \dots \dots \dots (8)$$

これは弾性床の上のりの弾性方程式と相似であり、弾性床の上のりの曲げ剛性 EJ と変位 v とはそれぞれ WA^* と r に対応し、また曲げモーメント $M = -EJv''$ は反りモーメント $Wf = -WA^*r$ に対応する。

図-5



$l=30, r=60, a=b=2, \delta=0.15$ (単位 m) なるはりのスパン中央断面の外側および内側ウェブに荷重 P が作用した場合の r および f の値を 図-5 に示す。図中の破線は同一断面同一スパンの直線桁の場合である。

(委員 深沢泰晴)

カラチ水力発電計画

“The Karadj Hydro-Electric Project”
Indian Jour. of Power and River Development
May (1964)

本計画は第二次世界大戦以前に考慮され、その一部が施工されたが大戦の勃発により中断された。戦後テヘラン市の面積と人口の急激な増加にともない家庭用水と電力のぼう大な需要を満たすためにカラチ計画の必要性が再認識された。テヘランの家庭用水需要量は現在のところ3年間 4500 万 m^3 ほどであるが将来上水道の普及に

ともなって 1 億 5000 万 m^3 に達するものと思われる。また電力需要についてはピーク時の使用量が 2 万 kW に達している。このような事態から本計画の完全実施が本格的に決定された。しかし財源不足のため建設が遅れたが、その期間中ダム形状およびその他の付属構造物の技術的な問題について種々の再検討がなされた。カラチダムと水力発電工事は、1961 年 10 月に起工し、首都テヘランの北西 63 km カラチ町の北方約 23 km に位置している (図-1)。

図-1 テヘラン地方の地図

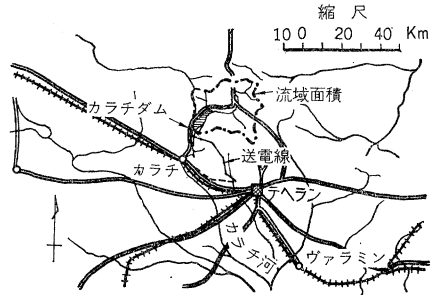


図-2 主ダム、洪水吐および発電所の平面図

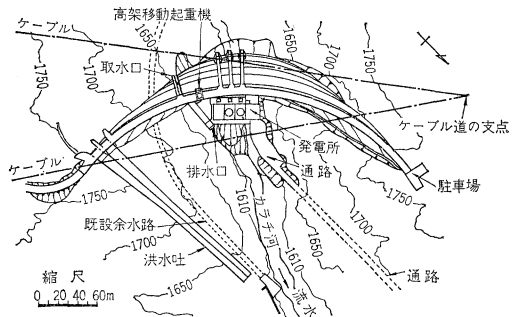
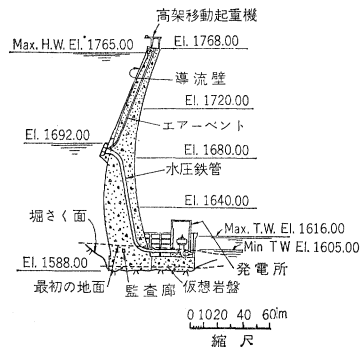


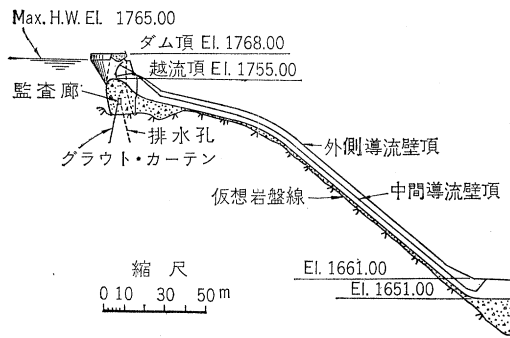
図-3 主ダムの断面図



本工事は、主アーチダム、調整用ゲートを設けたコンクリート余水吐、貯水排水工、ダム直下の発電所、発電所の下流 1.2 km の再調整ダムおよび 15 km の工専用道路の建設から成り立っている (図-2, 3)。主ダムの高さ

180 m, 堤頂長 390 m で中央角が一定の円弧アーチを持ったものである。このアーチダムは中央線の半径が EL 1586 m で最小 73 m, EL 1743 m で最大 199 m と変化した二重曲率の形状を特徴としている。その厚さは底幅 29.8 m で上部(道路幅)が 8.1 m となりコンクリート量 720 000 m³, 流域面積 764 m², 予想最大洪水量 1 億 1 450 m³/s, 貯水量 1 億 7 200 万 m³, 年間使用水量 1 億 1 560 万 m³, 常時発電力 40 万 kW, 最大発電力 110 万 kW である。本工事の特徴でもある洪水吐は, 右岸に設置され, 洪水量もティンターゲート 2 門の調整せきでシュートに導きその下端に設けられたデフレクターにより河川へ放流する。このゲートは発電所からの自動制御装置に

図-4 主ダム洪水吐の断面図



よって作動される。また手動によっても運転可能である。この洪水吐の水理模型実験については, トールーズ大学でなされ, シュート末端での放流にともなう流況の急激な変化を生ぜしめない最適なシュートの形状, 横断面形が決められた(図-4)。発電所は慣例の屋内タイプでダムの直下に設置され, 3 組の発電装置のスペースがあるが現在運転中のものは 2 組である。そしてこの 2 基からの年間出力は 15 万 kW である。カラチでの発電力はテヘランの郊外にある変電所へ 132 kV, 50 c で送られる。

再調整ダムは, 発電所の下流 1.2 km の位置にあって

図-5 再調整ダムの平面図

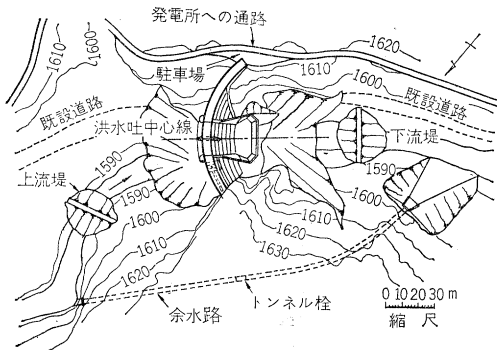
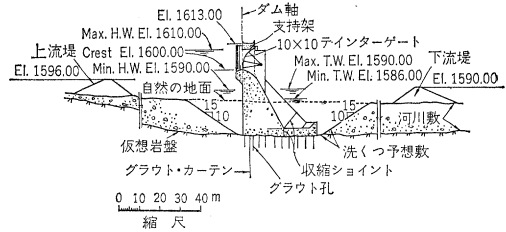


図-6 再調整ダムの断面図



中央にゲートのある洪水吐を持った重力式コンクリートダムで貯水量 60 万 m³ ほどであり, その高さは 50 m, 堤頂長 93 m で, 2 つの洪水吐ゲートを設けられている(図-5, 6)。このダムの工事中の洪水転換は右岸に通じたコンクリート張りのトンネルによってなされるが, 工事後は閉鎖される。この計画が実施された後には, 発電容量の増大化のみならず家庭用水の確保の問題も解決し, 近代のかがい, 水害防止, 魚業などに役立ち, 直接, 間接に首都の住民はもとより近郊の農村地帯の生活にまで多大の利益を与えるものである。(白水 清志)

アースダムにおける傾斜フィルターの機構

“Mechanics of Inclined Filters in Earth Dam”

Patel, V.J., Gopala Krishnayya, A.V., and Arora, K.L.

Jour. of A.S.C.E., SM, Vol. 90, No. 2, pp. 87~110 March (1964)

アースダムの安定は, ダム基底部にそってフィルターを設置し間げき水圧を減少させることによって増加している。上流側に設置したフィルターが水平なフィルターによって下流側に結ばれていれば間げき水圧をさらに減少させることができる。本論文は, 築堤材料が不透水性の粘土の場合に, 急速なドローダウンを生じた場合の, のり面安定を流線網, 間げき水圧の面から論じ, 上流側に設置されたフィルターの効用を明らかにしている。

まず安定解析を Fellenius 法, Stemp-ton の間げき水圧係数法などから検討する(特にことわらないかぎり, 記号は通常用いられているものと同じで, 式の番号は論文中のままとした)。

安全率は

$$F_S = \frac{(\sigma - u) \tan \phi + C \cdot l}{\tau} \dots \dots \dots (2)$$

$\sigma = F_o \cdot H^2 \cdot \tau_{sat}$, $u = F_u \cdot H^2 \cdot \tau_o$, $l = b' \cdot H$, $\tau = F_c \cdot H^2 \cdot \tau_{sat}$ を用いて

$$F_S = \left(B_1 - B \frac{\tau_o}{\tau_{sat}} \right) \tan \phi + \frac{C \cdot B_2}{H \cdot \tau_{sat}} \dots \dots \dots (5)$$

ただし, $B_1 = F_o / F_c$, $B_2 = F_u / F_c$, $B = b' / F_c$ である。

また間げき水圧は Stemp-ton 法により

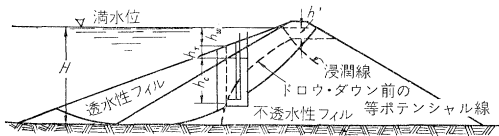
$$u = r_0 [h_c - h' + (1-n)h_r] \dots\dots\dots(6)$$

流線網のない場合には、 $F_u = F_v$ として計算している。さて任意のすべり円に関して式(5)を変形すると、

$$\frac{C_d}{H} = \frac{r_{sat}}{B_2} \left[1 - \left(B_1 - \frac{F_u}{F_r} \frac{1}{r_{sat}} \right) \tan \phi_d \right] \dots\dots(9c)$$

ここで $C_d = C/F_s$, $\tan \phi_d = \tan \phi/F_s$ である。この式で限界すべり円となるのは、与えられた $\tan \phi_d$, r_{sat} に対して $C/F_s \cdot H$ が最大となるものである。この限界すべり円の位置を決定するために種々の要素(上流側のり面の勾配、フィルターの位置、 ϕ , r_{sat} など)について試算を行ない数表がつくられている。これによれば、限界すべり円はただ上流側のり面の勾配のみの関数であることが示されている。

図-1



急速なドロウダウンの際の流線網は土質材料の透水性のいかんによらずフィルターの設置位置が適当であれば実用上安全率に大した影響を与えず、それゆえ急速なドロウダウン時の流線網を不透水性の材料に対しても使用できるとしている。

また、与えられた上流側のり面に対して、急速なドロウダウン、満水時の地震の場合にも、そのダム高さ、土の特性、間げき水圧の計算方法のいかんによらず限界すべり円は一つであり、フィルターは間げき水圧を最小ならしめる位置、つまりすべり円の近くに設置すべきことを述べている。そしてその位置をダム軸から垂直フィルターの場合 $0.25H$ 、傾斜フィルターの場合 $0.6H$ の位置が適当としている。なお安定計算の計算例を出して、論文中の数表・図表を用いて解法を示している。

(松井家孝)

コモー湾の防波堤岸壁

“The Breakwater Quay at the Bay of Comeau — a New Type of Wall”
Cote, G.I. and Simard G.R.
Dock & Harbour Authority Vol. XLIV No. 522, pp. 372~376, April (1964)

セントローレンス川下流北岸のマニコンガ川河口近くのコモー湾で、有孔壁を有するケーソン9基で防波堤を1000ft (305m) 延長した例である。

(1) 実験および研究

最近では波の反射現象をやわらげる鉛直壁とか、ポテンシャルエネルギーや運動エネルギーを分散させる鉛直壁を使用した防波堤工事も行なわれている。

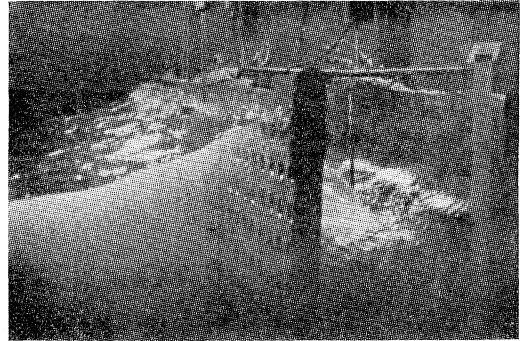
この問題について、National Research Council では、有孔板を用いて音波による実験をして、反射係数を小さくするために、壁にあける孔の大きさと数に関してつぎのような結果を得た。

孔の面積/総面積 0.25

孔の直径 $L/100$ ただし、 L : 有義波長

有孔壁を備えた模型水槽を造波水槽に据えて行なった実験では(図-1)、孔の摩擦によって壁の内外の水の振動に位相差が生じ、外波を減衰させた。

図-1 水槽テスト



(2) 設計と動圧力

ケーソン寸法は図-2に示すとおりで、岸壁としても防波堤が使用されるため、プラットフォームの幅員、フリーボードの高さ、海側の水深を制限した。現場のデータによればうねりが12ft (3.7m) に達することがあったが、実験では14ft (4.3m) の重複波を9ft (2.7m) にまで減衰させている。

壁の厚さは有孔壁の効果を50%に落して、壁だけで重複波に抵抗できるとして水理学的に求めた。

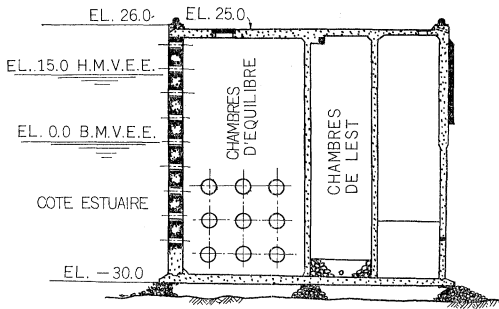
ケーソンの製作・浮揚の場合を考慮して、隔壁は軸方向に等分布荷重が働くとして設計している。中央隔壁にだけ砂利で中詰し、鉛直圧は均一に等分され、ケーソンは潮の影響に十分抵抗できる重量である。河口側の波圧は完全重複波圧であり、底板は2.2t psft、有孔壁下部は1.7t psftの耐圧設計となっている。

接岸側は9kip/ftまで船舶衝撃力を減少させる合成ゴムチューブ・フェンダーを取り付けた。

(3) 調整水室(エクイピリアム・チャンバー)

孔から流入する水の流れは25ft/secにも達し、孔の位置に水理的な配慮がないと摩耗してしまう。このため孔は良質のコンクリート・パイプを使用し、パイプの周囲は壁との密着を確実にするために、ラフに仕上げ、2個のゴム環でジョイントを水密にしてある。調整水室の水位が変化した場合、空気圧の変動をさけるために、プラットフォームの上に広いすきまが設けてある。このすきまは孔が氷や高い波で役に立たなくなった場合、安全弁として働く。

図-2 ケーソンの断面図



(4) ジョイントと被覆

ケーソンとケーソンの連結には調整水室と同じ働きをする2つのコンクリート・キーを付けて中に砂利を詰めた。強いうねりはジョイント方向に働きがちになるので衝撃力を小さくするために調整水室の上の端に孔を設けた。

マウンド斜面は 100~1500 ポンドの石で被覆し、防波堤の先端下部にはケーソン前面から 25 ft (7.6 m) 以上の幅で 2~4 t のブロックをおいた。

(5) 施工

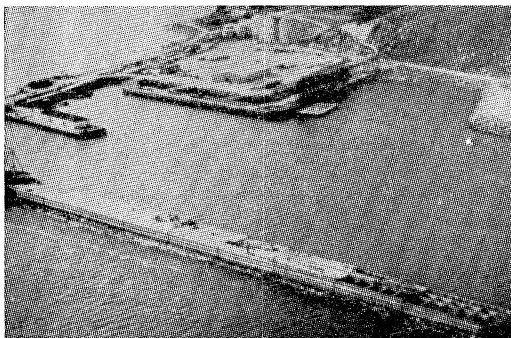
ケーソンの製作・据付けについて述べる。第一期工事ではシンカブル解によって底版のコンクリート打ちを行ない、底版工事が終ると壁を 14 ft (4.3 m) の高さまでコンクリートを打ったのち、進水させた。第二期工事で上部スラブの高さまで壁を上げた。バージやポンツーンを使用する方法と比較してこの方法はつぎの3つの利点がある。

- 1) 壁高を上げるにつれて徐々に浮力が増す。
- 2) スライディング・シャッター使用による正常かつ継続的の工事ができる。
- 3) ケーソンの取扱いないしは吃水をさげる操作が楽である。

ケーソンの据付けは、所定の場所に曳航してくるとすぐに行ない、直ちに上部スラブを施工した。

(6) 終りに

図-3 防波堤岸壁



この防波堤は 1962 年に完成して、現在種々の計測・調査を行なっており、いまのところけい船岸として使用するための越波防止の目的は十分満足させられている。

(橋川 隆)

待ち時間を最少にする信号周期の決定

“Settings for Fixed-Cycle Traffic Signals”

Miller, A.J.

Operational Research Quarterly Vol. 14 No. 4

pp. 373~386 December (1963)

信号待ちによる遅延時間を求める方法は、いままでも車の到着を等間隔とした場合、あるいはポアソン到着とした場合などについて求められているが、この論文では到着交通量の変動を表わすパラメーターとして $I=(\text{到着台数の分散の平均到着台数に対する比})$ を用いて一般の場合の遅延時間を求める式を導いて最後に遅延時間を最少にする信号周期の求め方を示している。

以下に用いられる記号は c =周期の長さ、 g =青時間の長さ、 q =単位時間当りの到着台数、 s =飽和時の単位時間当り通過台数、 $L=1$ 周期当り損失時間、 $\pi=g/(c-L)$ 、(ある方向に対する青時間の割当て比)、 $q\bar{x}=\bar{X}$ 番目の青が終わったときの待ち台数、 q_g =青になったときの待ち台数、 $n(t)$ =青になってから t 秒後の待ち台数、 $x=qc/sq$ (飽和度)、 t_1 =青になった時点、 $t_i=i$ 番目の車が通過した時点、等を意味する。

1) 赤時間内の遅延時間 $\int_0^{c-g} n(t) dt$ であるが期待値をとれば次式で示される。

$$E \int_0^{c-g} (q\bar{x} + qt) dt = (c-g) [E(q\bar{x} + 1/2q(c-g))] \dots \dots \dots (1)$$

2) 青時間内の遅延時間

k 番目の車が通過したときに待ち行列が消滅したものとすればこの間の遅延時間は

$$\sum_{i=1}^{k-1} [n(t_i) + n(t_{i+1}) + 1] / 2 s \dots \dots \dots (2)$$

一方 t_1 から t_{k-1} の間に到着した台数は $(k - q_g)$ であるから $n(t_i)$ の期待値は

$$E\{n(t_i)\} = q_g - i + (t_i - t_1 / t_{i+1} - t_i)(k - q_g) \dots (3)$$

式 (3) を式 (2) に代入すると青時間が有限でないとしたときの遅延時間の式が得られる。

$$(1/2 \cdot kq_g + 1/2 \cdot k - q_g) / s \dots \dots \dots (4)$$

また一般には k の期待値は $E(k) = (q_g - 1) / (1 - q/s) + 1$ と考えて良いので式 (4) に代入して式 (5) を得る。

$$(q_g - 1)(q_g + q/s) / 2(s - q) \dots \dots \dots (5)$$

また青時間が終わったときに待ち台数が $q_{\bar{x}+1}$ だけ残っていたとすれば式 (5) から $q_{\bar{x}+1}$ による遅延時間を差し引いたものが真の青時間内の遅延時間である。かくして青

時間内の遅延時間は式(6)で表わされる。

$$\{E(q_g^2 - q_{\bar{x}+1}^2) - (1-q/s)E(q_g - q_{\bar{x}+1})\} / 2(s-q) \quad \dots\dots\dots (6)$$

一方 q_g は $q_{\bar{x}}$ に赤時間内の到着台数を加えたものであるから

$$E(q_g) = E(q_{\bar{x}}) + q(c-g) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$E(q_g^2) = E(q_{\bar{x}}^2) + 2q(c-g)E(q_{\bar{x}}) + q^2(c-g)^2 + q(c-g)I \quad \dots\dots\dots (8)$$

平衡状態では $E(q_{\bar{x}}) = E(q_{\bar{x}+1})$, $E(q_{\bar{x}}^2) = E(q_{\bar{x}+1}^2)$ であるから式(6)は式(7),(8)を用いて式(9)に変形される。

$$q(c-g)\{2E(q_{\bar{x}}) + q(c-g) + I - 1 + q/s\} / 2(s-q) \quad \dots\dots\dots (9)$$

式(9)に式(1)を加えて一周期当りの遅延時間は式(10)で示される。

$$\frac{q(c-g)}{2(s-q)} \left\{ \frac{2s}{q} E(q_{\bar{x}}) + s(c-g) + I - 1 + q/s \right\} \quad \dots\dots (10)$$

つぎに $a_{\bar{x}+1}$ を赤になってからの到着台数とする

$$q_{\bar{x}+1} = \max(q_{\bar{x}} + a_{\bar{x}+1} - sg, 0) \quad \text{である。これを}$$

$$q_{\bar{x}+1} = q_{\bar{x}+1} = q_{\bar{x}} + a_{\bar{x}+1} - sg + \delta_{\bar{x}+1} \quad \dots\dots\dots (11)$$

で表わすことにする。両辺の期待値をとると $E(\delta_{\bar{x}+1}) = E(sg - a_{\bar{x}+1})$, 式(11)を変形して $q_{\bar{x}+1} - \{\delta_{\bar{x}+1} - E(\delta_{\bar{x}+1})\} = q_{\bar{x}} - \{sg - a_{\bar{x}+1} - E(sg - a_{\bar{x}+1})\}$ とし両辺を2乗して期待値を取り $E(q_{\bar{x}+1}^2) = E(q_{\bar{x}}^2)$ とおけば

$$E(q_{\bar{x}}) = \{\text{var}(sg - a_{\bar{x}+1}) - \text{var}(\delta_{\bar{x}+1})\} / 2E(sg - a_{\bar{x}+1}) \quad \dots\dots\dots (12)$$

$\text{var}(\delta_{\bar{x}+1}) / E(\delta_{\bar{x}+1}) \approx I$ としてよいので式(12)に代入して式(13)を得る。

$$E(q_{\bar{x}}) \approx \frac{(2x-1)}{2(1-x)} I \quad \dots\dots\dots (13)$$

式(13)を式(10)に代入して1周期当りの遅延時間は $\frac{q(c-g)}{2(s-q)} \left\{ \frac{sI(2x-1)}{q(1-x)} + s(c-g) + I - 1 + q/s \right\} \quad \dots\dots (14)$

(3) 最適周期の決定

交差する道路を右廻りに1, 2, 3, 4と番号をつけると $g_1 = g_3$, $g_2 = g_4$, $c = g_1 + g_2 + L$ である。また $g_i = \pi_i(c-L)$ である。式(14)の第3項以下は他の項に対して無視してよいので問題は式(14)の第1, 2項を各方向加えて $c/2$ で割った

$$R = \sum_{i=1}^4 \frac{q_i(1-g_i/c)}{(s_i-q_i)} \left\{ \frac{s_i I_i (2x_i-1)}{g_i(1-x_i)} + s_i(c-g_i) \right\} \quad \dots\dots\dots (15)$$

を最少にする c および π_i を求めることに帰する。

$$\frac{\partial R}{\partial c} = \sum_{i=1}^4 \left\{ \frac{s_i I_i \pi_i L}{c^2 (s_i q_i)} - \frac{s_i I_i q_i \pi_i L}{(s_i q_i - q_i c)^2} + \frac{q_i s_i}{s_i - q_i} [(1-\pi_i)^2 - \pi_i L^2 / c^2] \right\} \quad \dots\dots\dots (16)$$

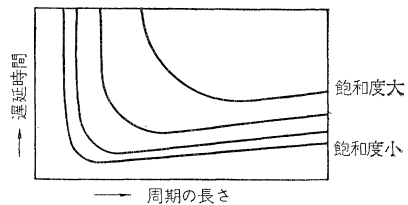
で第1項と L^2/c^2 をふくむ項は他の項に比べて無視し得るので

$$\frac{\partial R}{\partial c} \approx \sum_{i=1}^4 q_i s_i \left\{ \frac{-I_i \pi_i L}{(s_i q_i - q_i c)^2} + \frac{(1-\pi_i)^2}{s_i - q_i} \right\} \quad \dots\dots (17)$$

同様にして

$$\frac{\partial R}{\partial \pi_i} \approx (c-L) \sum_{i=1}^4 (-1)^{i-j} q_i s_i \times \left\{ \frac{-I_i c}{(s_i q_i - q_i c)^2} - \frac{2(c-g_i)}{c(s_i - q_i)} \right\} \quad \dots\dots\dots (18)$$

図-1 周期の長さとの遅延時間の関係図



式(17)と式(18)を解くのであるがその前に c と R の関係を概念的に描くと図-1のごとくになっており、周期が長過ぎる場合は遅延はわずかに増加するのみであるので最も飽和度の大きい方向について最適周期を求めれば目的を達する。 x_i の最大の方向について式(17)を0とおいて最適周期は

$$c = \{L + \sqrt{I_i L (1 - q_i s_i) / s_i \pi_i (1 - \pi_i)^2} / (1 - q_i \pi_i s_i)\} \quad \dots\dots\dots (19)$$

最適の π_i を求めるためには式(18)を解かねばならないが式(18)の第1項は第2項に比べてはるかに大きいので飽和度の大きい2方向について $q_i s_i I_i / (s_i q_i - q_i c)^2 = q_j s_j I_j / (s_j q_j - q_j c)^2$ を解けば良い。 $\pi_i = 1 - \pi_i$ とおいて解くと最適の π_i は

$$\pi_i = \frac{\sqrt{y_i I_i} + (c/c-L) \sqrt{y_i y_j} (\sqrt{y_i I_j} - \sqrt{y_j I_i})}{\sqrt{y_i I_i} + \sqrt{y_j I_j}} \quad \dots\dots\dots (20)$$

ただし $y_i = q_i / s_i$ である。

また $\pi = 0.2 \sim 0.8$ では $\sqrt{\pi(1-\pi)} \approx 0.5$, $(1-q_i/s_i) \approx (1-\pi_i)$ であるので式(19)は $c = (L + 2\sqrt{I_i L / s_i}) / (1 - y_i / \pi_i)$ で近似される。式(20)は c をふくむが実用的には $c/(c-L)$ は1.2とおいて良い。

(委員 藤田大二)

水理講演会講演集頒布

第8回 水理講演会講演集(1963年版)

B5判 78頁 定価450円 会員特価 400円(〒50円)