

今月は論文報告集第169号(44年9月20日発行)の掲載原稿として、つぎの5編を紹介します。今月紹介した論文報告に対する討議は45年3月20日まで受付けます。次号では論文報告集第170号掲載予定原稿として下記の4編を紹介する予定です。

- 岡林 稔：隅角部の角度と隅角部付近の応力分布の関係
- 伯野元彦・野尻陽一：ケーソンの動的特性に関する一研究
- 赤井浩一・山本和夫・有岡正樹：結晶片岩の構造異方性に関する実験的研究
- 川口昌宏：連続舗装の熱膨張座屈

テンター ゲート脚柱部の弾性座屈に関する二、三の基礎的研究

白石 成人

1. まえがき

昭和42年7月、京都府下和知水力発電所洪水吐テンターゲートが崩壊する事故が発生したが、従来テンターゲートの構造特性については詳細な研究はなく、とくにその不安定現象に関する問題点が提起されたように考えられる。本研究はこうした意味から対象を和知ダムテンターゲートにとり、原構造物の座屈荷重を決定する座屈限界式を誘導し、その不安定性を明らかにするとともに、補剛構造としての斜め材の効果について考察した。また斜め材をもつテンターゲート脚柱部の座屈条件式を誘導する方法を明らかにするとともに、その設計法についても二、三の基礎的考察を行ない、この種の構造物の座屈荷重限界面を示した。これらの理論的考察を簡単に裏付ける方法として Analog Simulation を用いたが、その有効性ととも、斜め補剛材の効果を実験的に考究した。

2. 理論的解析

図-1 に示すようなテンターゲート脚柱部の面内座屈の基礎式は

$$(EI_i(y_i^j)''')'' + \alpha_i P(y_i^j)'' = 0$$

$$i=1, 2, 3; j=I, II, III$$

のようであり、この場合必要な境界条件式は36個となる。和知ダムの例について計算すれば、荷重係数 $\alpha_1 : \alpha_2 : \alpha_3 = 1 : 1.10 : 1.22$ に対して $P_{cr} = 94t$ となり、中間継ぎ材がない場合 $P_{cr} = 90t$ となる。すなわち中間継ぎ材による効果はほとんど期待できず、また一次座屈モードは脚柱全長を座屈長とするものであることが求めら

れる。

図-2 のように斜め補剛材がある場合も上記の手法と同様に、その基礎式を求め解析することが可能である。

一般にこの種類の構造物では荷重係数を $1 : \alpha_2 : \alpha_3$ とおくことができ、 $P_1 = P_1(\alpha_2, \alpha_3)$, $P_2 = P_2(\alpha_2, \alpha_3)$, $P_3 = P_3(\alpha_2, \alpha_3)$ となるから、これより α_2, α_3 を消去すれば $f(P_1, P_2, P_3) = 0$

なる荷重限界面を求めることができる。これが外力に対して十分な抵抗力を示すように設計することが必要であると考えられる。

図-1 脚柱構造系の例

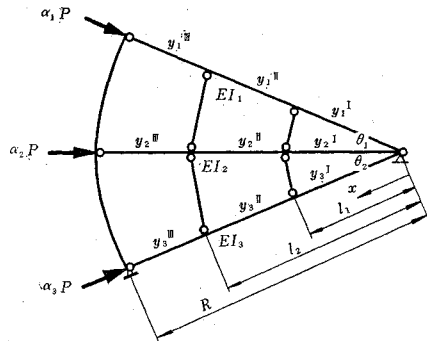
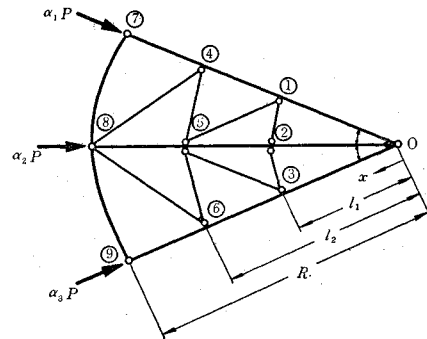


図-2 斜め補剛材をもつ脚柱構造



3. 実験的検討

図-2 に示すような構造系の座屈荷重を実験的に求めるために Russell Beam Analogy を用いれば、等価回路は図-3 のようになり、その共振曲線図は図-4 のようになる。図-3 の等価回路の基本周波数を 1000 rad/sec とすれば、座屈荷重は $P = (2\pi f)^2 (t)$ であり、ここに $f (\text{kc})$ は回路の共振周波数である。この場合、 $P_{cr} = 520t$ となり、前述の $P_{cr} = 94t$ に比較して安定性が著しく向上することがわかる。

図-3 に示す等価回路は各種の補剛材の配置に対してその特性を定性的のみならず、定量的に求めることができ、構造物の不安定性の解析にあたり、きわめて有効であると考えられる。

図-3 等価回路

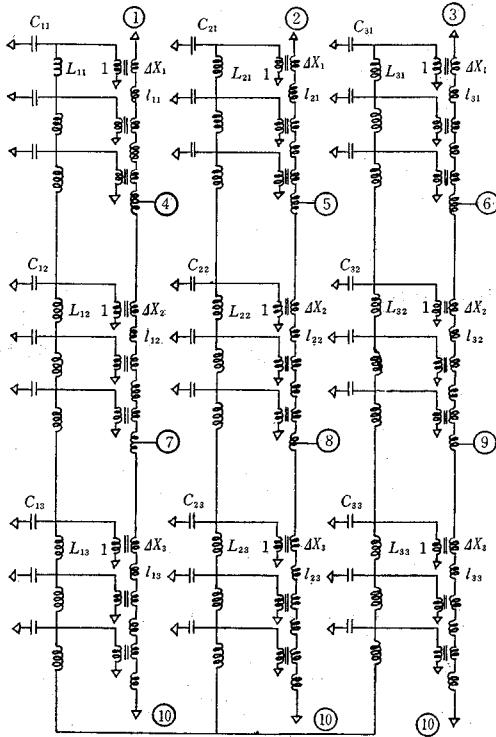
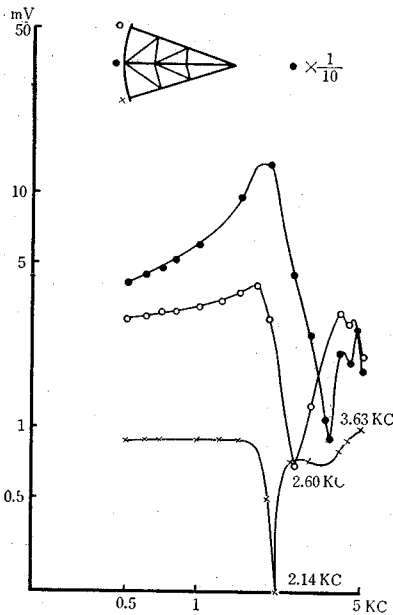


図-4 共振曲線図



4. 結 び

本研究はテンターゲートの面内座屈を理論的に考究するとともに、その特性を Analog Simulation によって明らかにした。この結果次第に薄肉化の傾向にあるこ

種の鋼構造物では不安定問題が改めて重要な設計上の問題となることが認められ、十分な検討が必要であることが明らかとなった。テンターゲートのような構造では、構造的な主部材、補助部材という分類が慎重に行なわれなければならない。このことは組立柱にも見られる所であるが、テンターゲートの構造系よりみれば必ずしも同一の範疇ではなく、斜め材によるせん断剛性の影響がとくに必要であると考えられる。

(1968.7.22・受付)

[筆者：正会員 工博 京大工学部 工学部]

塔状構造物の固有周期の自乗和を最小ならしめる断面変化に関する二、三の考察

中川 建 治

1. ま え が き

構造部材の総体積を一定に保ちつつ、塔状構造物、あるいは、高層ラーメンの固有周期の自乗和を最小にするような設計法を導いた。塔やラーメンの高さは任意である。

このような設計法は、それぞれの固有周期に近い周波数成分のみより成るパワー スペクトルをほぼ等しい大きさで含むランダム外力に対する応答の運動エネルギーの平均を最小化する設計法で、剛な構造物の設計法である。

構造物を有限 N 自由度の構造物とみなして、Flexibility matrix を $[f_{ij}]$ 、各格点の集中質量を m_j とすれば、固有周期の自乗和 Γ は、

$$\Gamma = \sum_{j=1}^N T_j^2 = 4\pi^2 \sum_{j=1}^N m_j f_{jj}$$

として与えられる。構造物を無限自由度の連続体とみなして、単位荷重による載荷点載荷方向たわみを $w(x)$ 、単位長さあたりの質量を $\rho(x)$ とすれば、

$$\Gamma = 4\pi^2 \int \rho(x) w(x) dx$$

となる。積分は、構造物全体にわたり、すべての自由度方向に行なう。

構造物の曲げ、あるいは、せん断変形に関する部材の総体積 V (ラーメンの床部分のような曲げ剛さの無限大なもの、あるいは、煙突のライニング部分は省く) を一定にして Γ を最小にするような断面形状を、つぎのような場合について検討して決定法を示した。

- (1) 高層ラーメンの曲げせん断変形の振動。
- (2) 有限自由度系としての塔の曲げ振動。
- (3) 無限自由度系の曲げ振動。
- (4) 頂部に集中質量を持つ片持ばりの有限自由度系

としての振動。

数値計算によって、おおよその断面変化の形状と、繰り返し計算における収れん性を示した。

結果の一部をつぎに示す。

2. 有限自由度系としての塔の曲げ振動

高さ l の片持ばりを N 等分して、 N 自由度の振動系とみなして解析する。

(1) $l=Nh$ と、 N 等分した格点へ質量を集中させる m_k ($k=1, 2, \dots, N$)。 m_k はあらかじめ仮定する。

(2) 曲げ剛さ EI_k は各区間内で一定で階段状に変化するものとする。

(3) 部材の総体積 V を一定とする。

すなわち、断面形状を表わす変数を τ_k とすると、つぎの関係が成立する。パラメーター $\beta_k, \tau_k, \zeta, \theta$ は既知量である。

$$EI_k = \beta_k t_k^5$$

$$V = h \sum_{k=1}^N \tau_k, t_k^\theta$$

これらの条件のもとに Γ を最小にするような τ_k を求めると、つぎのようになる。

$$\alpha(j) = \sum_{k=j}^N k^2 m_k - (2j-1) \sum_{k=j}^N k^1 m_k$$

$$+ \frac{1}{3} (3j^2 - 3j + 1) \sum_{k=j}^N m_k$$

$$t_j = \left\{ \frac{\alpha(j)}{\beta_j \tau_j} \right\}^{1/(\zeta+\theta)} \left[\frac{V}{h \sum_{k=1}^N \tau_k \left\{ \frac{\alpha(k)}{\beta_k \tau_k} \right\}^{\theta/(\zeta+\theta)}} \right]^{1/\theta}$$

あらかじめ仮定した m_k が t_k より求められるものと相違する場合は繰返し計算法を採用して収れんさせることを行なえばよい。

3. 全断面が曲げに抵抗する無限自由度系

煙突のライニングのような曲げ強度を、期待し得ない部材を無視した場合は、 Γ を最小にする理論解が得られる。

(1) 角柱、あるいは円柱(充腹断面)

高さ l 、総体積 V を一定にして、断面の直径(一辺)を $y(x)$ 、断面積を $A(x)$ とすれば、

$$A(x) = r y^2(x)$$

$$I(x) = \beta y^4(x)$$

$$V = \int_0^l A(x) dx$$

である。ここに $I(x)$ は断面2次モーメント、 r, β はパラメーターである。この場合、原点 ($x=0$) を片持ばりの埋込端とすれば、 Γ を最小にする解は、

$$y(x) = \sqrt{\frac{V}{2rl}} \left(1 - \frac{x}{l}\right)^{3/4}$$

である。

(2) 中空断面

肉厚一定で内径 $y(x)$ のみが変化する高さ l の片持ばりとすれば、

$$A(x) = r y$$

$$I(x) = \beta y^3$$

$$V = \int_0^l A(x) dx$$

である。 V 一定のもとに Γ を最小にする断面形状は、

$$y(x) = \frac{2V}{r l^2} (l-x)$$

で与えられる。

(1968.11.24・受付)

[筆者: 正会員 工修 山口大学助教授 工学部]

有限変形を考慮した平面骨組構造の弾塑性解析法

堀井健一郎・川原 睦

本論文は応力 σ とひずみ ϵ が、

$$\epsilon = \epsilon_e + \epsilon_p = \frac{\sigma}{E} + \rho(\sigma)$$

の関係で与えられた場合の骨組構造の解析法を述べたものである。すなわち、全ひずみ ϵ は、弾性ひずみ ϵ_e と塑性ひずみ ϵ_p との和として表わされ、塑性ひずみは応力 σ の関数 $\rho(\sigma)$ として表わされるものとしている。

これを平面保持則に代入して、整頓すると、軸ひずみ ϵ_n 、曲率 χ は

$$\epsilon_n = \frac{N}{EA} (1 + \theta_N)$$

$$\chi = \frac{M}{EI} (1 + Q_M)$$

$$Q_N = \frac{E}{N} \int \epsilon_p dA$$

$$Q_M = \frac{E}{M} \int \epsilon_p y dA$$

N : 軸力

M : 曲げモーメント

A : 断面積

I : 断面二次モーメント

とあらわすことができるから、これを用いて、換算節点力と変位との関係式を導いた。これは通常の Stiffness matrix を Q_N, Q_M 用いて修正する形式になっている。

このように、解式を組立てると、有限変形を、近似的に簡潔に考慮することができる利点がある。

このような非線型問題では、数値計算上にかずかずのくふうが必要であるが、著者らが試みた方法を同時に報告する。数値計算例として、門型ラーメンをとり上げ、Plastic Hinge Theory で計算した値と比較した。解式

はきわめて簡潔であるが、分割区間を細くとり、その間において成立する近似式を用いているため、分割数を多く取らねばならないこと、荷重増分を細く取って計算しなければならぬことなどに注意する必要がある。

(1969.3.11・受付)

[堀井：正会員 早稲田大学教授 理工学部]
[川原：正会員 早稲田大学 大学院学生]

ソイル セメントにおける粘土鉱物とセメントの相互作用の役割

川村満紀・柳場重正・杉浦精治・中野 寿

ソイル セメントは コンクリートの骨材にくらべてはるかに微細な土粒子とセメントの混合物であるため、硬化の機構もコンクリートやモルタルとは異なったものになる。また土粒子は鉱物学的にもコンクリート骨材とは異なり、各種の粘土鉱物を含有することが多い。

本論文は ソイル セメントにおける粘土鉱物とセメントの相互作用の機構およびそのような相互作用と強度発現との関係を明らかにしようとするものである。

粘土鉱物としてモンモリロナイト、カオリナイト、セリサイト、パイロフィライトを選び、実験用試料としてはCa-モンモリロナイトを主成分とする市販のベントナイトおよび市販のパイロフィライトを用い、カオリナイトおよびセリサイトはこれらを主成分とする岩石をボールミルによって粉碎した粉末を使用した。さらに自然土として金沢市卯辰山産の粘性土を用い、全体で5種類の粘土試料について、静的締固めによって供試体を作製した(最適含水比で)。行なった実験はX線回折、示差熱分析、pH試験、光学顕微鏡による薄片の観察、一軸圧縮強度試験、コンシステンシー試験である。これら各種試験結果について、すでにソイル ライムにおいて明らかにされている事実を考慮に入れて考察した。

結果をまとめるとつぎのようである。

(1) X線回折

ベントナイト-セメントのセメント量30%試料の各材令におけるX線回折図は図-1に示される。この図からCSH (gel)の3.07 Åにおけるピークが養生日数の経過とともに増大している状況が観察される。各試料のC₃SおよびCSH (gel)のピーク高さの養生日数にともなう変化状況に注目すると、ベントナイト-セメント、カオリナイト-セメント、セリサイト-セメントのいずれにおいてもセメントの水和はセメントペーストと同様な程度に進行し、とくにベントナイト-セメントでは強度の根源と考えられる多量のCSH (gel)が生成されることがわかる。

(2) 示差熱分析

DTA 曲線からはカオリナイト-セメントでは比較的多量のC₄AH₁₃が生成されるが、セリサイト-セメントではC₄AH₁₃の吸熱ピークはみられないことが判明した。

(3) pH試験

カオリナイト-セメントおよびセリサイト-セメントは養生日数90日までpH値にほとんど変化なく、90日から200日にかけて多少低下する。しかしベントナイト-セメントのpHはかなり初期材令から低下し、セメント量10%の試料では養生日数90日よりかなり早い時期に20%では90日前後でpHは11程度になる。

(4) 一軸圧縮強度試験

図-2は各セメント量のベントナイト-セメントの一軸圧縮強度-養生日数の対数との関係を示す。これら3本の曲線の特徴は、セメントの水和により生成するCa(OH)₂とベントナイトのポズラン反応が強度に寄与することを示しており、pH試験結果と関連づけると、そのようなポズラン反応は、pH依存性であると結論できる。

(5) 薄片の観察

写真-1(a), (b)はそれぞれ3日材令および91日材

図-1 3日, 28日, 91日および200日材令におけるベントナイト-セメント(セメント量30%)のX線回折図

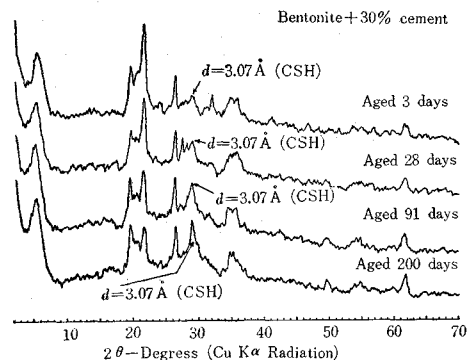


図-2 養生時間ともなうベントナイトセメントの一軸圧縮強度の変化

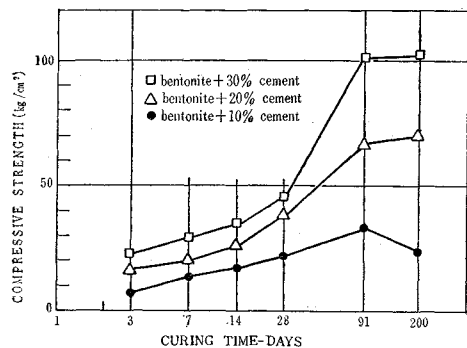
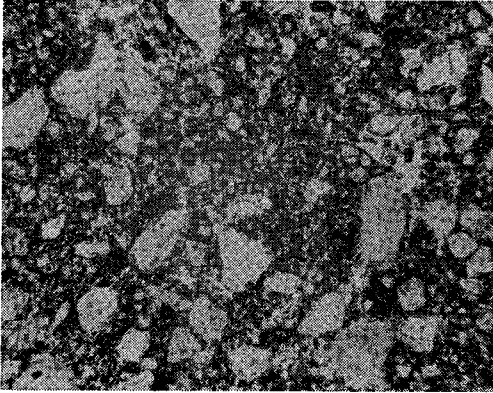
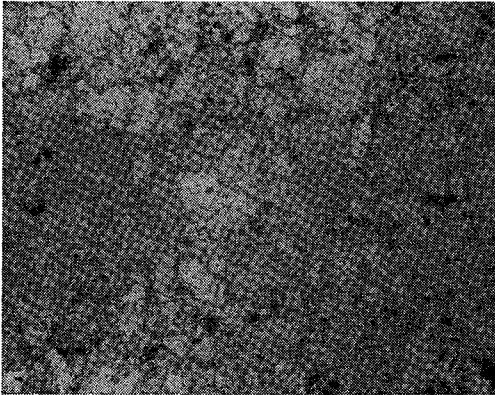


写真-1 セメント量 20% のカオリナイト セメントの薄片の顕微鏡写真

(a) 3日材令



(b) 91日材令



令におけるカオリナイトセメントの顕微鏡写真である。これらの写真から養生日数の経過とともに内部組織がかなり変化することがわかる。

(1968.11.9・受付)

川村：正会員	工修	金沢大学講師	工学部
柳場：正会員	工博	金沢大学教授	同
杉浦：	理博	金沢大学教授	理学部
中野：		金沢大学助手	同

石炭灰を使用したモルタルおよびコンクリートの強度

戸田 五郎・長谷川幸雄

最近の経済発展により、設備投資に伴う建設工事において、コンクリート用骨材が日増しに枯渇する現況にあるので、この普通骨材を全く使用しない、またはきわめて少量で、しかもポルトランドセメントを用いないで火力発電所から大量に排出され未利用のまま廃棄処分されている石炭灰や、製鉄所の鋳炉滓等の原料を膠結材とするモルタル、およびコンクリート（CSモルタル、

およびコンクリート）について、その諸物性ならびに強度特性を究明した。

まず、使用したCS材料としては非ポルトランド系セメント質材料のうち、当地方で比較的容易に入手できる材料を選定した。

CSコンクリートでは、強度発現のために微粉碎された材料を用いて高速ミキサで混練りし、高温蒸気養生することが有効であることを予備試験結果から確認したので、そのために材料微粉碎用ミル、高速ミキサ、蒸気養生槽を設備した。とくに、ミキサについては1μ以下の極微粉材料と水とを混練りし、しかも硬練りで均質なものを得るには、在来ミキサでは、不可能なので実用大型（プラント適用可）の特殊設計による高速ミキサを開発した。このミキサによる混練り状況を写真-1に示す。

主材料であるシンダーアッシュとして、中部電力KK新名古屋火力産のものを用いたが、これをバイプロミルで微粉碎した材料を用い、ブレン値の違いによる影響を調べた結果、ブレン値の大きいほど強度が大なることを確認した（図-1）。

つぎに、フロー値を一定範囲（200±5mm）にしたモルタルで、水セメント質比を求めたが、普通モルタルの場合の水セメント比と同様、その値が大きいほど、強度が小さくなることがわかった。

写真-1 高速ミキサによる混練り状況

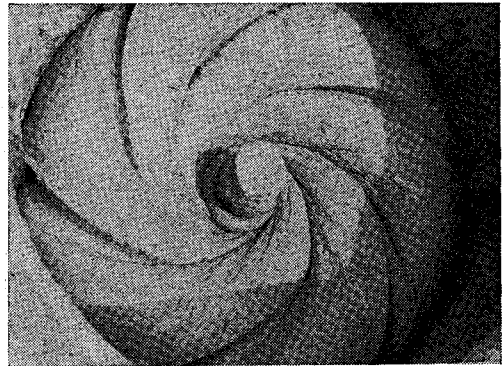
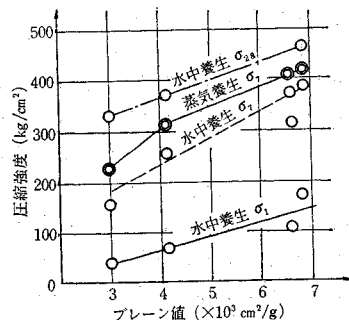


図-1 各材令におけるAshのブレン値と圧縮強度との関係



石灰の種類としては、生石灰、消石灰、脱硫試験に使用済みの石灰を用い、石灰、ならびに、水滓スラグの混合比を変えた場合について、圧縮強度を求めた結果、50～650 kg/cm² の広範囲にわたる強度を得た。

骨材の種類による比較として、20～1.2 mm の範囲の粒度のもの4種類について比較試験を行なった結果、粒度の細かいほど強度は大となった。また砂とクリンカーアッシュを併用する時は、砂の混合割合の多いほど強度は大となり、細骨材として砂の代りにクリンカーアッシュを用いると、圧縮強度は約15%低下するが、砂利骨材を使用しない経済的コンクリート、および熱特性のある特異コンクリートとして十分利用される可能性があるように思われる。

なお、このほか引張強度、曲げ強度、すりへり試験、弾性係数測定も行なった。

著者らの研究は、各種工場で大量に排出される残滓を適量配合して、それらの経済的な有効利用を図り、建設資材としても新分野の開発を意図したものである。本研究のほか、多種広範囲にわたる研究を進めている。

(1969.1.4・受付)

戸田：正会員 中部電力(株)総合技術研究所
長谷川：正会員 同

【研究ノート】

変形を考慮した斜張橋の解析

長谷川紀夫・成岡昌夫

論文報告集への討議について

論文集編集委員会では、論文集報告集に掲載した全論文報告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. 討議は論文報告集掲載の全文を対象とします。
2. 討議の受け付けは論文集報告掲載後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な事項を記入のうえ論文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。

フローリンの土質力学

京都大学教授 工博 赤井 浩一 監修
東海大学助教授 理博 大草 重康 訳編

第I巻 A5 456頁 定価 2,000円(9月発刊)
第II、III巻 A5 各350頁 予価各1,500円(続刊)

◆ ソ連のすぐれた土質学者、ペー・アー・フローリンの労作の完訳。ゲルセバノフ理論を引きつぎ、それを発展・完成させた彼の学問的業績が、本書の中にみごとに体系化されている。

◆ 内容の概説

《第I巻》 第I章 土質力学の目的と発展； 第II章 土に関する基本的概念； 第III章 基本的な計算式とモデル； 第IV章 構造物基礎地盤の応力状態； 第V章 有限剛性構造物底面における反力； 第VI章 剛性構造物底面における応力
《第II巻》 第I章 構造物の最終変位； 第II章 土中の気体分離と蒸発現象； 第III章 粘性土の圧密現象の基本概念； 第IV章 土の2次元および3次元圧密問題； 第V章 階差法による圧密問題の数値解
《第III巻》 第I章 土の極限つり合いの2次元問題の一般理論； 第II章 基礎地盤および構造物の安定性； 第III章 土のレオロジーモデルおよびクリープに関する基本概念

建設省河川局海岸課長補佐 豊島 修 著
現場の 海岸工学(高潮篇) 菊判 368頁
ための 定価1,800円

本書は現場で直接海岸工事業に従事する技術者のためにわかりやすく、実務的で、かつ最新の海岸工学の研究成果もできるだけとり入れた海岸工学の入門書である。とくに高潮対策の計画から設計・施工法については現場に即した豊富な計算例・設計例を取録してある。
【内容概説】 1.波 2.浅海における波の変形 3.計画潮位 4.計画波 5.波圧 6.波のうちあげ高 7.高潮対策の計画 8.高潮対策工法の設計と施工

日本大学教授 工博神谷貞吉編 「土木学大成」第2回配本
特殊構造物(I) 菊判 272頁
定価 1,800円

—水門・水圧鉄管・タンク・パイプライン・溶接特論—
土木工学の分野で、一連の施設の中であって神経となり、あるいは血管として必須な役割を果たしている特殊構造物のうち、本書では水門、水圧鉄管、タンク、パイプラインを取り扱い、その計画・設計・施工法を中心に解説し、なお、実務に役立つ専門書としての見地から現場溶接の特論を加えて充実を期した。執筆者はそれぞれの分野における最高権威者5名の共同分担になる。

法政大学教授 工博大地洋三著「土木学大成」第3回配本
コンピューターの土木工学への応用 菊判 350頁
—ターの 定価1,800円

森北出版 101 東京都千代田区神田小川町3-10
電話 東京(292)2601/振替 東京 34757