

【討 議】

松岡 元 共著
中井照夫

“Stress-Deformation and Strength Characteristics of Soil under Three Different Principal Stresses” への討議

(土木学会論文報告集第 232 号・1974 年 12 月掲載)

▶ 討議者(Discussion)

佐 武 正 雄 (東北大学)

By Masao Satake

原論文において、提案されている空間モービライズド面 (SMP と略記) の概念や、これに関連した種々の力学的記述は大変興味あるものである。以下に、筆者の感じた事柄や若干の考察を述べます。いくらかでも参考にになり、また著者らのご意見が伺えれば幸いです。

(1) 空間モービライズド面のもつ力学的意味

このことについて、筆者は、材料の中にすべりのおこる確率密度を考慮した統計的意味をもつ面であるという一つの解釈を示した^{a)}。SMP のもつ力学的意味を明確にすることはきわめて重要なことと思われ、著者らが述べているように、粒状体内の粒子の実際に最も滑動する面であるかどうかという点は、さらに実験的研究によって観察を深める必要があると思われる。

(2) SMP 上の応力・ひずみ関係

著者らは、SMP 上の τ/σ と $de/dr, r, \epsilon$ などの関係が、三主応力の状態に関係なく、ほぼ一意的な曲線にのるのに反し、同様のことを正八面体面について行ったのでは、うまく整理ができないことを述べている。筆者は、 p (粒状体に与えられる換算平均応力) $\rightarrow \infty$ の場合が金属材料の場合に対応し、SMP \rightarrow 正八面体面となることを指摘した^{a)}が、この観点からみれば、上述のことは、むしろ当然のことと思われる。

さらに、金属の塑性理論で

$$\tau_{oct} = f(\tau_{oct}) \dots\dots\dots (1)$$

が、ひずみ硬化の関係を与える^{b)}ことに対応して考えれば、

$$\left(\frac{\tau}{\sigma}\right)_{SMP} = f\{(r, \epsilon)_{SMP}\} \dots\dots\dots (2)$$

も、粒状体における一つのひずみ硬化の関係式を与えるのではないと思われる。この場合、式 (2) の右辺のひずみの関数 $(r, \epsilon)_{SMP}$ のもつ力学的意味の考察が重要である。

(3) モール平面上的の SMP の位置

モール平面 (σ, τ を座標軸とする平面) で SMP の位置を作図するには、図-A に示すようにすればよい。すなわち、SMP を示す点 P は、3 個の円弧 $\widehat{P_1P_2\sigma_1}$, $\widehat{P_2P_3\sigma_2}$, $\widehat{P_3P_1\sigma_3}$ の交点として求められる。図中、 L_1, L_2, L_3 はこれらの円弧の中心を示し、たとえば、 L_1 の座標は $(\sigma_2 + \sigma_3)(\sigma_1^2 - \sigma_2\sigma_3)/2\{\sigma_1(\sigma_2 + \sigma_3) - 2\sigma_2\sigma_3\}$ である。この作図は、正八面体面の場合^{c)}と同じ手法で行われる。ここで、注目すべきことは、平均応力を表す点を \bar{O} とすれば、 $\bar{O}P \perp OP$ となっており*、 P は $O\bar{O}$ を直径とする円周上にあることである。図-B は、この性質を応用して、軸対称応力の場合の SMP の位置 P_c (圧縮), P_t (引張) の作図を示す。図中、 \bar{O}_c, \bar{O}_t はそれぞれ圧縮、引張の場合の平均応力を示す点である。なお、この場合、

$$\tan \varphi = \frac{2\sqrt{2}}{3} \tan \varphi_0 \dots\dots\dots (3)$$

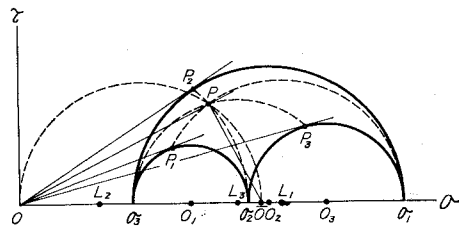


図-A

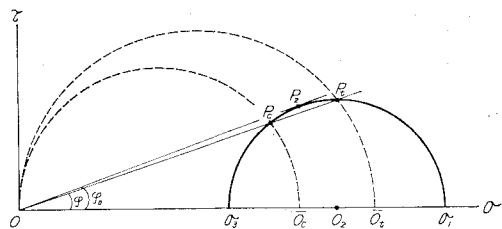


図-B

* $\bar{O}P = \frac{1}{3} \sqrt{J_1(J_1 - 9\frac{J_3}{J_2})}$ で、 $p \rightarrow \infty$ に対し $\bar{O}P \rightarrow \sqrt{\frac{2}{3}} S_2$ となる (式 (5), (13) 参照).

の関係が成り立つ。

(4) 平面ひずみの条件

いま、

$$\phi = \tan^2 \varphi = \frac{J_1 J_2}{9 J_3} - 1 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$J_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3, \quad J_2 = \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1, \\ J_3 = \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 \quad \dots\dots\dots (5)$$

とおけば、

$$\frac{\partial \phi}{\partial \sigma_{ij}} = \frac{J_1 J_2}{9 J_3} \left(\delta_{ik} - \frac{1}{J_1} \sigma_{ik} \right) \left(\frac{J_1}{J_2} \delta_{kj} - \sigma_{kj}^{-1} \right) \dots\dots\dots (6)$$

となる。ここに、 δ_{ij} はクロネッカーのデルタ、 σ_{ij}^{-1} は σ_{ij} の逆テンソルである。したがって、 ϕ を塑性ポテンシャルとして、応力・ひずみ増分関係

$$D\epsilon_{ij} = \frac{\partial \phi}{\partial \sigma_{ij}} D\lambda \quad \dots\dots\dots (7)$$

を導入し、平面ひずみの条件、 $D\epsilon_2 = 0$ を用いれば、

$$\left(1 - \frac{\sigma_2}{J_1} \right) \left(\frac{J_1}{J_2} - \frac{1}{\sigma_2} \right) = 0$$

より、

$$\sigma_2 = \sqrt{\sigma_1 \sigma_3} \quad \dots\dots\dots (8)$$

が得られる。式(8)は、式(7)に若干の修正をしても得ることのできる関係式で⁴⁾、図示すれば図-Cに示すように、円 O_1 と円 O_3 の接線が共通となるという、きわめて単純な性質である。この場合、SMP を示す点 P は原点 O を中心とする弧 $\widehat{P_2 \sigma_2}$ 上にある。また、図示の φ_{13} について

$$\sin \varphi_{13} = \frac{\sqrt{\sigma_1} - \sqrt{\sigma_3}}{\sqrt{\sigma_1} + \sqrt{\sigma_3}} = -\mu \quad \dots\dots\dots (9)$$

が成り立つ。ここに、 μ は、この平面ひずみの条件に対応するローデのパラメーターである。この場合も、 $p \rightarrow \infty$ とすれば、金属材料で用いられている周知の関係式

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}, \quad \mu = 0 \quad \dots\dots\dots (10)$$

に帰着する。

(5) Stutz の一般形との関係

軸対称応力の場合、引張・圧縮のいずれに対しても同一の内部摩擦角 φ_0 を与える粒状体の降伏条件の一般式として、Stutz⁹⁾ は、

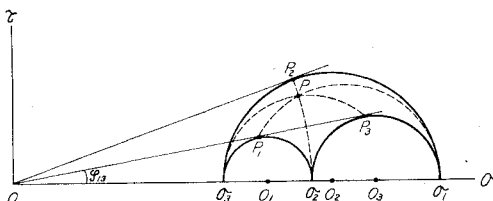


図-C

$$\bar{S}_2 = \frac{\sqrt{\frac{2}{3}} 2^m (K-1) S_1}{\left\{ K^{1/m} + 1 - \sqrt{6} \left(\frac{\bar{S}_3}{S_2} \right)^3 (K^{1/m} - 1) \right\}^m}$$

.....(11)

を与えている。ここに、 $S_1, \bar{S}_2, \bar{S}_3$ は次に示すような応力テンソルの不変量 (S_2, S_3 は偏差応力の第2, 第3不変量)、

$$S_1 = 3p, \quad \bar{S}_2 = \sqrt{2} S_2, \quad \bar{S}_3 = \sqrt[3]{3} S_3 \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$p = \frac{1}{3} J_1, \quad S_2 = -J_2 + 3p^2, \quad S_3 = J_3 + pS_2 - p^3 \quad \dots\dots\dots (13)$$

また、

$$K = \frac{3 + \sin \varphi_0}{3 - \sin \varphi_0} \quad \dots\dots\dots (14)$$

である。橋口¹⁾も式(11)をさらに一般化したものについて考察を行っている。

さて、式(11)は

$$\frac{p}{\sqrt{S_2}} = \alpha, \quad \frac{S_3}{S_2^{3/2}} = \beta \quad \dots\dots\dots (15)$$

とおけば、

$$\alpha = \frac{\left\{ K^{1/m} + 1 - \frac{3\sqrt{3}}{2} \beta (K^{1/m} - 1) \right\}^m}{2^m \sqrt{3} (K-1)} \quad \dots\dots\dots (16)$$

と記すことができる。一方、松岡らの提案式は

$$\tan \varphi = \sqrt{\frac{J_1 J_2}{9 J_3} - 1} = \sqrt{\frac{2pS_2 - 3S_3}{3(p^3 - pS_2 + S_3)}} \\ = \sqrt{\frac{2\alpha - 3\beta}{3(\beta - \alpha + \alpha^3)}} \quad \dots\dots\dots (17)$$

であるから、式(3)の関係をを用いて整理すれば、

$$8\alpha^3 \sin^2 \varphi_0 - 2\alpha(3 + \sin^2 \varphi_0) + \beta(9 - \sin^2 \varphi_0) = 0 \quad \dots\dots\dots (18)$$

という3次方程式となり、松岡らの条件は Stutz の与えた一般式には含まれていないことがわかる。しかし、式(18)は、軸対称応力の条件 $\beta = \pm 2\sqrt{3}$ を入れれば、一つの実根

$$\alpha = \frac{3 \mp \sin \varphi_0}{2\sqrt{3} \sin \varphi_0} \quad \dots\dots\dots (19)$$

をもち、式(16)の場合と同一の結果を与える。

参考文献

- a) 佐武正雄：降伏条件の統計論的考察，土木学会第29回年次学術講演会講演概要集第1部(1974)，1-3
- b) 横堀武夫：材料強度学，岩波(1964)，4-5
- c) Nadai, A.: Theory of Flow and Fracture of Solids Vol. 1, McGraw-Hill, (1950), 104
- d) 佐武正雄：粒状体の平面歪状態に関する考察，第10回土質工学研究発表会昭和50年度発表講演集(1975)，137-140
- e) Stutz, P.: Comportement élasto-plastique des milieux granulaires, Symposium on Foundations of Plasticity (edited by A. Sawaczuk), Noordhoff (1973), 37-49
- f) 橋口公一：摩擦性塑性体に関する降伏理論，土木学会論文報告集第199号(1972)，57-66

まず著者らが提案している空間 モービライズド面 (SMP) に興味をもってくださいましたことをうれしく思います。また討議者のご専門の塑性論の立場から、著者らの論文に対し5項目にわたり詳細なご検討と好意的なご教示を賜りましたことを厚く感謝いたします。特に、金属材料における正八面体面が、土のような粒状体においては SMP に対応するとのご指摘は、著者らを変え勇気づけるものでありました。(2), (3), (5) の項目については、特別にコメントさせていただくこともございませんので、(1), (4) の項目についてのみ以下に著者の意見を述べさせていただきます。

(1) に関して

SMP とすべり面の関係は、著者らにとっても重大な関心事である。相異なる3主応力 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ をうけた土の供試体に生ずるすべり面は、実験観察によれば、中間主応力 σ_2 軸に平行にはいることが多いといわれている。一方、SMP は σ_2 軸に平行でないで、実験事実と反するのではないかとご指摘を多くの方々からうけている。しかし、もし SMP が σ_2 軸に平行であるとすると、 σ_2 方向の滑動成分がまったくないわけであるから、中間主ひずみ ε_2 は常にゼロということになって都合の悪いことになる。土粒子は、ミクロにみれば各粒子接点の接面上の合せん断力と垂直力の比がある一定値に達したとき、その合せん断力の方向に滑動すると考えられる。したがって、必ずしも σ_2 軸に平行な方向にだけすべりする必要はないものと思われる。ピーク強度付近までの小さな変形を対象とする場合には、この SMP が平均的にみて土粒子が最も滑動する面であると考えている。ただし、ひずみが大きくなって残留強度付近まで変形が進

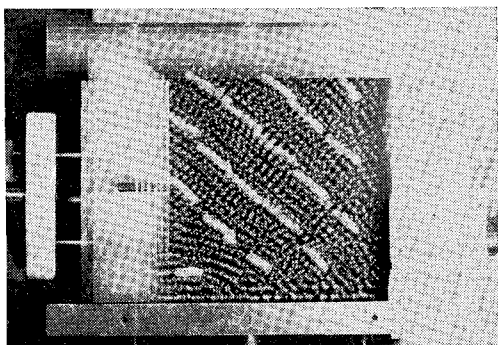


写真-1 上方の載荷板の変位 (δ_2) および左方の載荷板の変位 (δ_3) による鋼球 ($\phi 3.35$ mm) の滑動状況 ($\delta_2 = \delta_3 = 0 \sim 10$ mm)

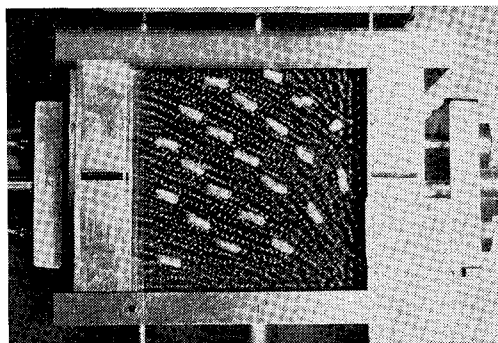


写真-2 同上 ($\delta_2/\delta_3 = 1/2$, $\delta_2 = 0 \sim 3$ mm, $\delta_3 = 0 \sim 6$ mm)

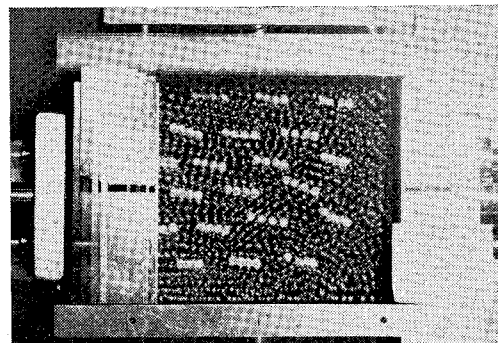


写真-3 同上 ($\delta_2/\delta_3 = 1/3$, $\delta_2 = 1.5 \sim 4.5$ mm, $\delta_3 = 4.5 \sim 13.5$ mm)

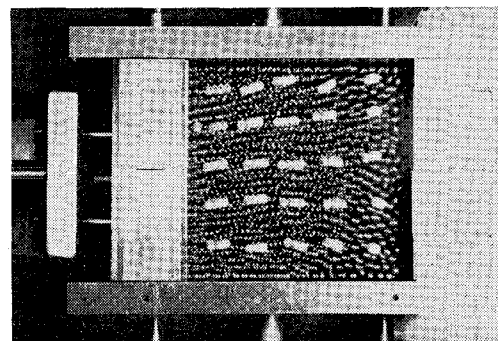


写真-4 同上 ($\delta_2 = 0$, $\delta_3 = 0 \sim 6$ mm)

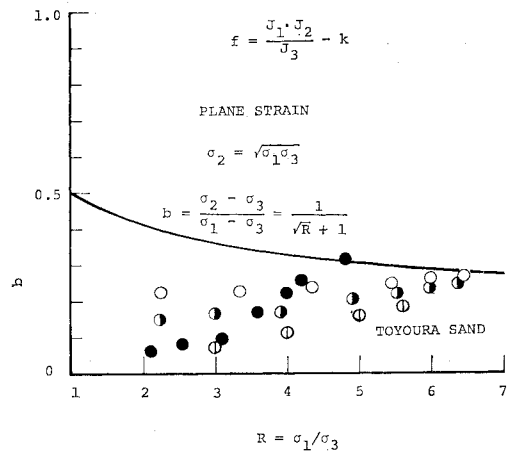
み、マクロなすべり面が表われるころには、土粒子は主応力比の値にしたがってせん断方向に配向されるので、 σ_2 軸に平行な滑動成分が多くなり、それがすべり面として観察されることも考えられる。

B. Hansen²²⁾ は、彼らの多軸試験の観察から、中間主ひずみ ε_2 と最小主ひずみ ε_3 がある比率をとる場合には、 σ_2 軸に平行な第1のすべり線群だけでなく、 σ_1 軸に平行な第2のすべり線群も観察されたと述べている。このことは、原論文の Fig. 1 にしたがっていえば、AC

に平行なすべり面だけでなく BC に平行なすべり面も観察されたと解釈できるかもしれない。また、この記述は AB に平行な第 3 のすべり面の存在も想像させるものである。もしそうだとすれば、それら 3 個のすべり面の合成面として空間モービライズド面 ABC を想定することは、さほど不自然なことではないであろう。

著者らはこの問題に関連して次のような簡単な実験を行ってみた。写真—1~4 は、直径 3.35 mm の鋼球を試料として、箱型多軸試験機⁴⁾ (供試体寸法約 7 cm×7 cm×7 cm) の直交する 2 個の載荷板に外向きの変位を種々の割合で与えた場合の重ね撮り写真を示したものである。なお、写真中の白色の標点は白色のラッカーを塗った鋼球である。写真—1 は写真上方の載荷板の変位 (δ_2) と左方の載荷板の変位 (δ_3) を等しくした場合を表わしている ($\delta_2 = \delta_3 = 0 \sim 10$ mm)。写真より粒子はほぼ 45° の方向に動くのがみられる。このときは、 δ_2 方向の応力 σ_2 と δ_3 方向の応力 σ_3 は等しいと考えられる ($\sigma_2 = \sigma_3$)。すなわち、三軸圧縮状態に対応する。次に、写真—2 は $\delta_2/\delta_3 = 1/2$ の場合を示している ($\delta_2 = 0 \sim 3$ mm, $\delta_3 = 0 \sim 6$ mm)。写真—3 は $\delta_2/\delta_3 = 1/3$ の場合を示している ($\delta_2 = 1.5 \sim 4.5$ mm, $\delta_3 = 4.5 \sim 13.5$ mm)。写真—4 は $\delta_2 = 0$ すなわち平面ひずみ状態の場合を表わしている ($\delta_2 = 0$, $\delta_3 = 0 \sim 6$ mm)。写真—2~4 の場合は、当然のことながら σ_2 と σ_3 は等しくなく ($\sigma_2 > \sigma_3$)、写真—1, 2, 3, 4 と写真番号が進むにつれて σ_2/σ_3 の値は 1 から順に大きくなると考えられる。

さて、以上の実験事実はきわめて当然のことではあるが、このことより次のことがいえるであろう。まず、 $\sigma_2 \geq \sigma_3$ の場合に粒子は必ずしも σ_2 方向に平行にだけ滑動するのではなく、一般には σ_2 方向の滑動成分をもつものである。しかも、この σ_2 方向の滑動成分は三軸圧縮状態から平面ひずみ状態まで連続的に減少するものである。したがって、土粒子の最も滑動する面は、一般にはその応力状態にしたがって 3 主応力軸に斜交するものと考えられる。このことは、SMP が土粒子の最大滑動面であることを支持する 1 つの事実であろう。なお、写真—4 の平面ひずみ状態の場合にも SMP は σ_2 方向に平行にはならないと考えられるが、SMP は傾いていても SMP 上のダイレイタンスによるひずみが圧密によるひずみによって打ち消されて全体として σ_2 方向のひずみがゼロになると解釈している。この実験では応力の測定を行っていないので、SMP が実際に土粒子が最も滑動する面であるという積極的な実証はできていない。応力測定も加えたこの種の実験を続けて、近い機会に発表させていただきたいと考えている。



図—31 係数 $b = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3) \sim$ 主応力比 σ_1/σ_3 関係の実測値と理論曲線の比較

(4) に関して

討議者が提案されている平面ひずみ状態の場合の応力条件 $\sigma_2 = \sqrt{\sigma_1 \sigma_3}$ は、実は著者らも討議の中で述べておられるのとまったく同じ方法で 1974 年に導いていた。中間主応力が最大主応力と最小主応力の相乗平均であるというきわめてシンプルな形が、魅力的であったのを感じている。ただ、実測値との適合性が期持していたよりはよくなかったため、あきらめたような形でおいておいたものである。

図—31 は、係数 $b = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ と主応力比 σ_1/σ_3 の関係で表わした実測値と、 $\sigma_2 = \sqrt{\sigma_1 \sigma_3}$ を用いた理論曲線の比較を示している。実測値はすべて豊浦砂の平面ひずみ試験から得たもので、実験条件は○印の場合 $\sigma_3 = 1.0$ kg/cm², せん断開始直前の初期間隙比 $e_i = 0.623$, ●印の場合平均主応力 $\sigma_m = 2.0$ kg/cm², $e_i = 0.680$, ⊙印の場合 $\sigma_3 = 2.0$ kg/cm², $e_i = 0.659$, ⊖印の場合 $\sigma_3 = 1.0$ kg/cm², $e_i = 0.658$ である。実測値は実験条件によってかなりばらつくが、いずれにしても左下から右上がりになる傾向はみられるようである。理論曲線とは破壊(主応力比のピーク値)の付近ではほぼ合うようである。なお、この図は 1975 年 6 月の土質工学研究発表会の席で、討議者の発表に対して著者の一人がディスカスさせていただいたときスライドで示した図と同じものである。

参考文献

- 4) Matsuoka, H.: Stress-Strain Relationships of Sands Based on the Mobilized Plane, Soils and Foundations, Vol. 14, No. 2, 1974, pp. 47-61.
- 22) Hansen, B.: Discussion to P.V. Lade's Written Discussion of Session II, Proceedings of the Symposium of the Role of Plasticity in Soil Mechanics, Cambridge, 1973, pp. 136-137.

最新の学理と実例を盛り込んで装い新たな“岩盤力学”が出版されました。！！

土木技術者のための
岩盤力学
昭和50年度改訂版

B 5判 676 頁
付録 日本地質図 付

定 価 12 000円
会員特価 10 800円
送 料 600円

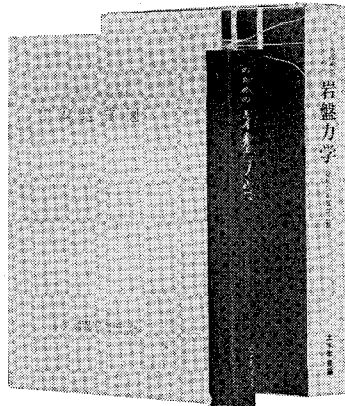
本書編集の基本方針

近年、構造物が巨大かつ複雑になってきたこと、国土の開発に伴い良い地盤をもつ地点が漸次涸渇してきたこと、かなり傷んだ岩質の地盤の上にも重要構造物を造らなければならない場合が多くなってきたこと、などの理由から岩質の地盤といえどもその力学的安定についての綿密な検討を必要とするようになってきた。“岩盤力学”とよばれる学問はこの必要に即して生まれてきた。

土木学会では昭和41年に“岩盤力学”を出版し各方面で好評を博して参りましたが、既に10年を経過し、この間に数次の国際会議、国内シンポジウム等が開かれて斯学の発達には著しいものがあり、また、活発に行なわれた国内建設工事においては岩盤力学は幾多の応用例を見出している、という情勢下において本書の改訂が話題となったとき、ただちに

出された意見は「最新の学理および施工例を取り入れた徹底的な改訂である。そして慎重な検討の後この方針で改訂版を出版することとなった。岩盤力学・土木地質学の基礎および応用の理論を詳述するのほか、岩盤力学を使って設計施工が行なわれたわが国の工事例を多数集録するという本改訂版の特色はますます発揮されるよう努力され、ここに昭和50年度改訂版を世に送ることとなった。

* * * *



主要目次

第1章 岩盤力学における地質 1.1 概説 1.2 岩盤の種類と成因 1.3 岩石の物理的力学的性質 1.4 岩盤の構造 / 第2章 岩盤の調査および試験 2.1 概説 2.2 地質調査法 2.3 岩盤試験法 2.4 岩石試験法 2.5 岩盤の工学的分類とその表示方法 2.6 ダム・トンネル・斜面・基礎における調査体系 / 第3章 岩盤の工学的特性 3.1 概説 3.2 硬岩から成る岩盤の性質 3.3 岩石と岩盤の工学的性質の相関 3.4 軟岩から成る岩盤の性質 3.5 岩盤の動的繰返し変形の特性 3.6 岩盤の初期地圧 / 第4章 岩盤力学における基礎理論 4.1 変分原理 4.2 応力およびひずみ 4.3 弾性理論 4.4 塑性理論 4.5 線型粘弾性論の熱学的解釈と岩盤の応用解析への適用法 4.6 破壊理論と実験 4.7 浸透流の理論的解析 4.8 岩盤の弾塑性理論解析 4.9 すべり安定解析 / 第5章 岩盤の力学的および水理学的解析方法 5.1 概説 5.2 模型実験 5.3 有限要素法 5.4 岩盤内の浸透流の解析 5.5 岩盤の力学的解析例 / 第6章 掘削 6.1 概説 6.2 岩盤の切削 6.3 爆破理論 6.4 爆薬と起爆法 6.5 各種爆破工法 6.6 コントロールドプラスティング工法 6.7 爆破振動 / 第7章 斜面への応用 7.1 概説 7.2 斜面崩壊形の分類 7.3 切り取りの面の勾配および形状の標準 7.4 斜面安定計算 7.5 斜面安定工法 / 第8章 ダムへの応用 8.1 概説 8.2 ダム基礎の設計体系 8.3 基礎岩盤の評価 8.4 基礎の設計法 8.5 基礎のグラウチング 8.6 特殊処理工 8.7 フィルダムの基礎 / 第9章 トンネルへの応用 9.1 概説 9.2 トンネルの地圧 9.3 トンネル湧水 9.4 掘削 9.5 支保工 9.6 覆工 9.7 圧力トンネル 9.8 トンネルの変状 / 第10章 地下空洞（地下発電所）への応用 10.1 概説 10.2 発電所位置の決定 10.3 空洞の設計 10.4 施工中の測定と補強 / 第11章 橋梁基礎への応用 11.1 橋梁基礎の一般的形式 11.2 剛体基礎の設計体系 11.3 橋梁基礎として要求される基礎岩盤の性質 11.4 岩盤上に設ける基礎の特殊施工例 / 第12章 施工および施工後の測定 12.1 ダム基礎 12.2 トンネル 12.3 橋梁基礎 / 付録 日本地質図 (1/200万) 解説。

《土木学会発行の出版物のご購入について》

1.土木学会発行の出版物は、全国主要書店にてお求め下さい。この場合、会員特価は適用されませんが送料等がお得です。

2.土木学会へ直接ご注文の際は、料金に送料を添えて現金書留便にて次へお申込み下さい。

〒160 東京都新宿区四谷1丁目

社団法人土木学会 刊行物頒布係あて

本書編集の趣旨

過去の正当な評価と理解こそが、明日の国土経営にあたって、新鮮な技術の発想を生み出します

「日本の土木技術—近代土木発展の流れ—」は土木学会創立60周年記念出版物の一つとして企画されたものであります。明治以降、一世紀にわたる経済・社会の流れと土木とのかかわり合いを述べたものであります。

最近においては公共事業のあり方をめぐる世論は非常に激しく、作ることの意義が鋭く問われています。このような時、過去の貴重な土木事業ならびに土木技術の正当な評価と理解を行ない、国土への新しい認識を得、明日が必要とする新鮮な技術の発想を生み出したいものです。

技術の源流を探り、歴史から学ぶことの大切さに耳を傾けて下さい

今から約10年ぐらい前は東京オリンピックを頂点とする建設ブームが最高潮に達した“物”の時代であり、大型プロジェクトが次々と完成し、わが国の経済・社会に大きく貢献しました。しかしながら、その後半においては資源エネルギー問題を契機として経済・社会・文化・技術等あらゆる方面で大きな転換が迫られております。このような時、明日の方向を見出すために私達は技術の源流を探り、歴史から学ぶことの大切さに耳を傾けたいものです。

本書の内容

江戸時代末期から明治前期・後期、大正、昭和初期、大東亜戦争期、外地土木、戦後復興期、高度成長期そして再開発期、という時代の流れを縦軸とし、下記に述べる主要な土木の事業・技術を横軸として、縦軸と横軸の間にあって、土木の織り出す主要な事例を経済・社会的背景との関連で記述することを編集の基本方針としました。

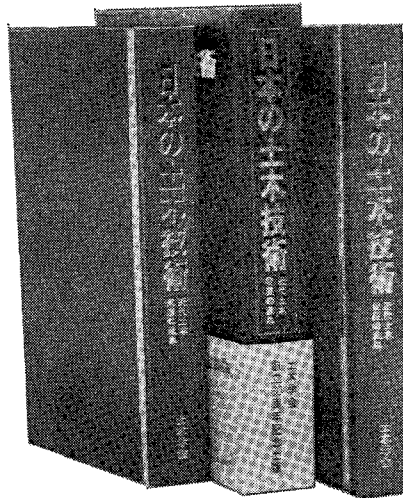
〈主要目次〉

1. 総論 1.1 土木事業による地域の開発と土木技術
 - 1.2 土木史から学ぶ 1.3 日本近代土木の流れ
 2. 国土と地域の開発 2.1 江戸時代の国土経営 2.2 近代化と地域の変ぼう 2.3 激動期の地域整備 2.4 戦後の地域開発 2.5 主要課題の展望
 3. 水の利用と水との戦い 3.1 江戸時代まで 3.2 近代河川技術の導入 3.3 戦前の治水と水力利用 3.4 戦後の治水と水資源開発 3.5 これからの方向
 4. 交通輸送路の整備 4.1 国土と交通輸送路 4.2 江戸時代の交通輸送路 4.3 近代国家形成のために 4.4 資本主義の発展を支える 4.5 復興と成長の礎 4.6 豊かな社会をめざして
 5. 都市の建設 5.1 江戸から明治期 5.2 戦前の都市建設 5.3 戦後30年間の都市建設
 6. 土木材料の進歩と土木技術の進展 6.1 材料の進歩 6.2 施工法の進展と機械化 6.3 建設に携わるもの 6.4 時代を開く構造物
 7. 教育と研究のあゆみ 7.1 土木の教育と研究 7.2 明治から大正にかけて 7.3 昭和初期から戦後の学制改革へ 7.4 最近の教育・研究の動向
- 付・年表、索引

土木学会創立60周年記念

日本の土木技術

—近代土木発展の流れ—



日本の土木技術編集委員会編

A 5判 505 頁

定 価 3 200 円

会員特価 2 900 円

送 料 250 円

〈裏面もご覧下さい〉