

アメリカ合衆国における海洋構造物研究の現況

繁 野 鎮 雄*

1. はし が き

アメリカ合衆国における海洋開発研究の必要性を大別すれば

(1) 科学的必要性：この必要性を満足させることによって、海洋環境についての理解を深め、他のすべての海洋に関係ある要求を満たすことに役立つ。

(2) 軍事的必要性：国家目的および国家の政策を軍事的に支持し、強化することに関係するもので、合衆国海軍が軍事的海洋開発の任務を有している。

(3) 非軍事的必要性：

a) 公共的なもの——公共の福祉に役立つもの

b) 営利的なもの——営利目的の個人または会社の企業開発に役立つもの

ということになる。

2. 宇宙開発より海洋開発へ

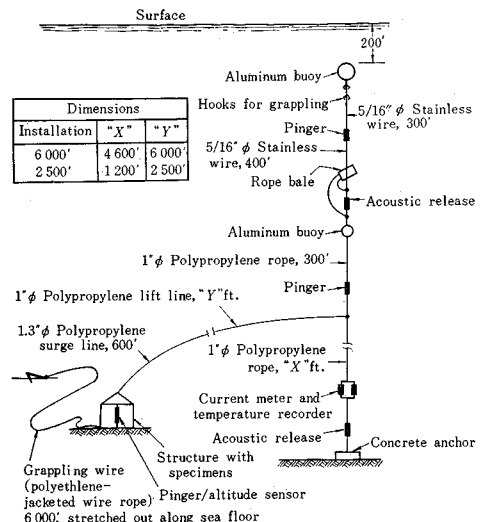
アメリカはこれまで宇宙開発にばく大な財政資金を支出してきたが、ようやく、開発の限界が見えてきたこと、宇宙開発に対する投資が産業によって回収されることをあまり期待できないことなどの理由から、むしろ、その面で大きな期待もてる海洋開発への投資に政策を転換しつつあることは事実のようである。と同時に、資本主義国家特有の資金面中心の政策転換が、宇宙開発と同程度以上の規模による海洋開発を将来するであろうことを希望的観測する向きが多いようである。それはともかくとしても、海洋開発がアメリカの重要施策の一つにあげられていることが事実である以上、今後ばく大な資金がこの面に流れることは疑う余地のないことで、したがって、これをあてこむ産業の意図が、研究に対する強い要求となって現われ、研究者の意欲をかきたてているとみることができる。

3. 海洋の調査および海洋構造物

さて、宇宙開発は前にも述べたように、ばく大な資金

と、ばく大な人的エネルギーとを投じて行なわれたのであり、これに関連する産業の業種も多様であった。しかし、宇宙開発はそれ自体が目的であって、それによって新しい資源を求めたりするものではなかった。そのため関連する産業も、電気、通信、ロケット、光学、材料などが、それ自体の目的のために研究、開発、生産を続けてきた。そのような事情から、政策が宇宙から海洋に転換した場合、さしあたりこれらの産業を宇宙向きの製品から海洋向きの製品に転換させることが、ゆき足のついた企業エネルギーを吸収する上に必要であり、また、海洋には未知の要素が多く、何から手をつけるにしてもまず海洋自体に対する調査をすることが先決である。このような見地から、現在海洋について国家的に行なわれている研究、開発の対象は、海洋そのもの、すなわち、海洋気象、地質、地形、地震、生物などの観測、計測、探査およびそれらに必要な機器が主体となっている。そして、海洋構造物に限ってみても、それらの機器および装置類を海洋に固定するための塔、台ブイ(図-1参照)など、およびそれらの据付作業をするための作業機器の範囲を出ていないようである。ただ一つ例外的な規模において推進されている構造物は、石油産業を背景にする人工島および海洋掘削装置——移動式掘削機(写真-1

図-1 海中調査装置



* 日立造船(株)陸機事業部プロジェクト部 第1班班長

写真-1 移動式掘削機

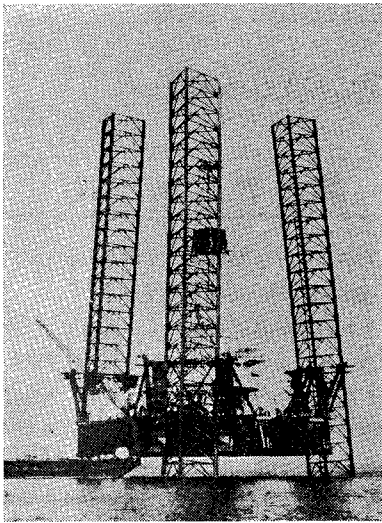
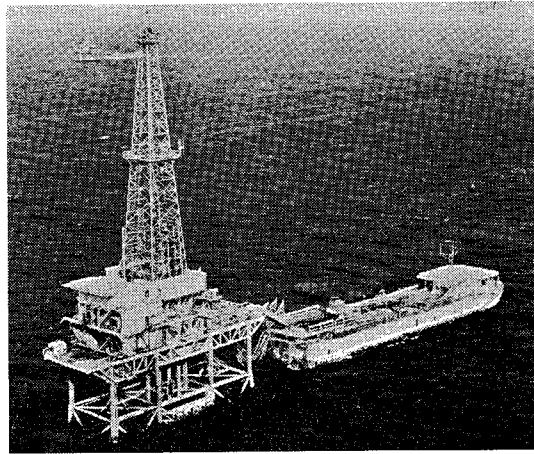


写真-2 固定式掘削機



ものに対する
 精細な認識を
 持つ必要があ
 るところから、
 上に述べた海
 洋調査に全
 面的な期待を
 よせている状
 況である。

ここに述べ
 た海洋掘削装
 置について、
 1968年9月、
 California大

参照)、および固定式掘削機(写真-2参照)——である。これは前に述べた非軍事的必要性の中の営利的のものに属する要求に支えられているわけで、今のところ、産学協同の形で進められている。しかしながら、これとて、海洋についての基礎的知識の欠如に原因する事故が多い(表-1参照)上に、より深くより安価なものという石油産業の厳しい要求を受けて、設計および解析技術の向上のみが解決の道であり、そのためには海洋その

学において行なわれた連続公開講座“Design and Analysis of Offshore Drilling Structures”は、アメリカにおける海洋構造物研究の現況を知るうに興味深く思われるので、以下にだいたいの模様をご紹介します。

4. California 大学の連続公開講座

講座は、まず、Shell 石油の L.G. Otteman 氏の「海洋石油産業」と題する講演によって始められた。この講演の概要はつぎのようである。

表-1 おもな掘削機の事故

年次	掘削機名	形式	事故状況
1955	Calco "S-44"	着底型	メキシコ湾で噴油と火災のため損傷。修復後稼働。
1955	American Tidelands "101"	着底型	メキシコ湾で作業現場へ移動中転覆。引起したうえ使用。
1956	SEDCO "Rig 22"	着底型	造船所で転覆。引起したうえ使用。
1957	Royal/Dutch Shell "Qatar Rig No. 1"	自己上昇型—四角柱脚	ベルジャ湾で移動準備中突風のため破壊。放棄。
1957	Glasscock Drilling Co. "Mr. Gus 1"	自己上昇型—円柱脚	メキシコ湾で移動準備中に転覆。一部引き上げ。
1957	Deepwater "No. 2"	自己上昇型—三角柱脚	メキシコ湾で掘削作業中に倒壊。引上げて廃棄。
1957	John W. Mecom "Ed Malloy"	着底型—浮ドック	掘削用解がオードリー台風で損壊。浮ドック式部分は引上げたが使用不能。
1958	Underwater Gas Developers "Translake 111"	自己上昇型—着底座付	エリー湖の最初の作業現場へ曳航中転覆。放棄。
1959	Trans-Gulf "No. 10"	自己上昇型—円柱脚	メキシコ湾で移動準備中倒壊。放棄。
1959	Reading and Bates "C.E. Thornton"	自己上昇型—三角柱脚	ベルジャ湾で噴油と火災のため損傷。修復後稼働。
1960	Zapata Off-Shore "Nola 11"	解型	カンベチュ湾で目的地に移動中嵐のため座礁。放棄。
1961	Offshore Co. "No. 55"	自己上昇型—四角柱脚	トリニダッドからアメリカ合衆国に向け曳航中ハチー台風のため英領ホンジュラスで座礁。修復後稼働。
1961	La. Delta Offshore "Delta"	着底型	メキシコ湾で台風のため損傷。修復後稼働。
1962	Global Marine "SM-1"	解型	サンタバーバラ沖で稼働中嵐のため沈没。放棄。
1964	Reading and Bates "C.P. Baker"	双胴解型	メキシコ湾で噴油と火災のため転覆。放棄。
1964	Blue Water "Rig No. 1"	半潜水型	ヒルダ台風で倒壊沈没。放棄。
1965	Penrod "Rig 52"	自己上昇型—着底座付	メキシコ湾で移動中倒壊。ベシー台風で破壊。放棄。
1965	Royal/Dutch Shell "Orient Explorer"	自己上昇型—円柱脚	ボルネオからイギリスに向け曳航中、地中海で損傷。修復後稼働。
1965	SNAM-SAIPEM "Paguro"	自己上昇型—三角柱脚	アドリア海で噴油と火災のため損傷。修理中。
1965	Marlin Drilling Co. "Marlin No. 3"	自己上昇型—着底座付	メキシコ湾で目的地に向け移動中沈没。修理中。
1965	Zapata Off-Shore "Maverick 1"	自己上昇型—三角柱脚	ベンー台風で損壊。放棄。
1965	Royal/Dutch Shell "Triton"	自己上昇型—円柱脚	ナイジェリアで噴油と火災のため破損。放棄。
1965	Royal/Dutch Shell "Bryard"	半潜水型	南支那海で曳航中破壊。脚2本引き上げた。
1965	Compagnie General D'Equipments "Sea Gem"	自己上昇型—円柱脚	北海で移動準備中破壊。放棄。
1966	CEP "Roger Burin"	自己上昇型—円柱脚	カメルーン沖で移動後倒壊。放棄。

アメリカにおける石油需要は、向う 20 年間に 2 倍に増大すると予測されるが、1970 年代には需給の均衡が限界に達するであろうといわれている。そのため、国内資源の開発が急がれるが、そのためには海洋の開発が最も有望と考えられる。過去 10 年間海洋の開発に努めた結果、輸入は総需要の 13% にとめることができた。しかしながら、1967 年までに連邦政府に支払われた海洋鉦区の利権料、使用料、借地料は合計 28 億ドル、また州政府に対して 15 億ドルが支払われた勘定になり、これの料金だけで、1968 年には年間 6 億 5 000 万ドル以上が、政府に支払われることになると考えられている。一方、これに対して国内の石油産業は、1966 年中に 11 億 6 000 万ドルの水揚をしたが、これを漁業の 4 億 5 000 万ドル、鉦業の 5 000 万ドル、海運業の 14 億 7 000 万ドルにくらべると、規模の大きさがわかるであろう。

しかしながら、一方、1967 年までに海洋石油産業が海洋に投じた資金は、合計 130 億ドルに達し、登録した鉦区の深さは 1 800 ft、これまでに試掘した海の深さは 630 ft、実際に採油している水深は 340 ft におよんでいる。これを見ても海洋石油資源に対する期待の大きさが察せられるが、遺憾ながら、石油の生産コストは水深に応じて増大する傾向がある。もし、海洋構造物の技術者がコストを増大さすことなく、深海の掘削、採油ができるように努力しないならば、将来は油母頁岩、石炭その他から炭化水素をつくることによって需要をまかなうこともありうるであろう。

以上が講演の要旨であるが、これは海洋技術者に対する要求というよりも、脅迫のようにさえ聞える。この冒頭に行なわれた強い調子の講演は、講座のプロローグの役目を果たすために行なわれたとも見ることができ、講演に述べられた事情が海洋構造物研究に対する至上命令になっていることを認めなければならないと思う。

次に行なわれた Southeastern 掘削会社の S.L. Taylor 氏の講演は、先の Otteman 氏の講演に應えるような調子のものであった。すなわち、掘削機会社は、石油会社の要求に応ずるため、みずから構造の研究に多額の投資を行なうほか、California 大学を始めとする研究設計グループとともに、未知の問題解決に全力をあげている。現在かれらが問題解決のために行なっているものとしてあげたものは、つぎのとおりである。

(1) いくつかの掘削装置に気象データの記録装置を搭載した。風速、流速および流れの方向、波高および周期などが、錨鎖の張力、うねり、Heave、Roll および Pitch などと一緒にアナログ磁電テープに記録される。

(2) 2 種の重要な継手部分における応力の大きさとその分布を調べるための模型実験をほぼ完了した。

(3) 大きな嵐の発生する水域で稼働中の 135 台の装置にひずみ計を貼付して主要部材に発生する応力を計測する。その結果波の高さや周期と発生する応力の間の関係を記録することができ、複雑な 3 次元フレーム構造に作用する力を決めるのに用いる解析法をチェックする。

(4) 建造方法の改善

いろいろ述べた中で、彼がとくに力を入れた次の言葉は印象的であった。

“海洋構造物のための設計条件について学び、理解しまた選び出すということは、自然によってそなえられた力に逆らうような構造物を、設計すると同じくらいに大それた仕事なのである。、”

これは当然のことではあるが、海洋構造物の研究にたずさわる技術者の、先駆者としての悩みを如実に現わしたものである。

彼がさらに訴えるように、いかに立派な解析をしようにも、設計者が使えるような海洋のデータを完備した水域がほとんどないということである。幾多の事故を経験し、しかも、一方使用者からの厳しい要求にもかかわらず、データが不足するばかりにまだすっきりとした設計条件を設定して構造を改善することができないのである。計算技術の進歩は計算の速度を飛躍的に進めたが、計算に使う Input Data は一朝一夕に整えられないという悩みである。

続いて、Earl & Wright 社の Martinovich 氏の「海洋掘削装置の設計に関する考察」と題する講義は、人工島を始め各種の固定式および移動式の掘削機について、使用上の要求事項、環境の評価、設計荷重、解析、設計、材料、組立方法および建造用作業機器など、設計上考慮すべき事項について解説するとともに、現在稼働中のものにこれらの事項がいかに適用されたかが述べられた。彼は掘削機専門のコンサルタントであるが、彼のいうところにしたがえば、かれらは常に調査研究を怠らず、研究や実験によってえられたデータを用いて、できるだけ理論的な解析を行ないながら設計の改善に努めていることが察せられる。決して安易な態度で設計していないのである。このことは、設計基準の確立されていない海洋掘削機に対して当然のこととはいえるが、その厳しい態度は予想外であった。講義は、主として中空円柱の塔構造を対象としているが、これは現地までは海上に浮かせて曳航し、現地においては中空円柱の中にバルブによって注水しながら、姿勢を直し、次第に所定の位置に沈めるという工法上の利点を有するものである。本講座の中には、中空円柱の継手に関する講義が多いが、海洋構造物には今後中空円柱構造が主要な役割をするという考え

方に基づくものであろう。

次に「組立て」と題して、組立て工数を優秀な設計によって低減することにより、採油台のコストを水深が深くなっても、いままでのように高くせずすむという Kaiser Steel 社の Tokola 氏の講義と、最後に行なわれた海洋構造物に対する海上保険の講義とを除けば、おおむね、学界の権威者による相当程度の高い講義であった。筆者にはその内容を解説したり、論評を加えたりすることはできないが、ごくあらましをご紹介しますと、つぎのとおりである。

(1) 「波の力」(R.L. Wiegel) : 台構造 (Platform) の脚や甲板が表面の波から受ける力の理論と計測値について報告された。

(2) 「静的構造解析」(R.P. Shubinski) : 三次元の大型構造物に重点を置いた構造解析について述べたもので、解法、偏心継手および弾性支持条件の取扱方を中心に話された。

(3) 「中空円柱継手設計の概念」(J.G. Bouwkamp) : 中空円柱継手の設計についての基本的な要件について述べたもので、継手の設計を改善するため数種の形式(図-2 参照)について、それぞれの利害得失を論ずるとともに、中空円柱継手の極限強さを、継手部の円柱の径と板の厚さをパラメーターにして調べるために行なった最近の研究結果が報告された(図-3 参照)。

先にも述べたように、海洋構造物にとって、中空円柱部材によって構成される構造の重要さから、それに関する研究が多いが、ことに、中空材の構造にとって、もっとも問題になる継手部分についての研究に重点が置かれているようである。

(4) 「動的構造解析」(R.P. Shubinski) : 大型構造物の動的解析に適した手法の比較について述べたものでとくに系の自由度を減らすことについて論じ、大型三次元構造物が自由度の数を減少することによって、静的解析を用いて動的応答についても解析することが可能であることを示している。

(5) 「波と構造物の相互作用」(R.P. Shubinski) : 構造物の剛性が波による荷重関数そのものにおよぼす効果について述べられた(図-4 参照)。

(6) 「海洋構造物の地震による挙動」(R.W. Clough) : 太平洋をとりまく地震帯の性状、代表的な地震運動の主要特性および地震運動によって構造物に起こる現象について概説された。

(7) 「設計に考慮すべき破壊機構」(W.W. Gerberich) : 材料の選択に当っては、強度、じん性、破壊の相互の関係を理解することが必要であり、溶接や応力除去や熱処理によって生じた金属組織の変化が、いかに脆

図-2 各種の中空円柱継手

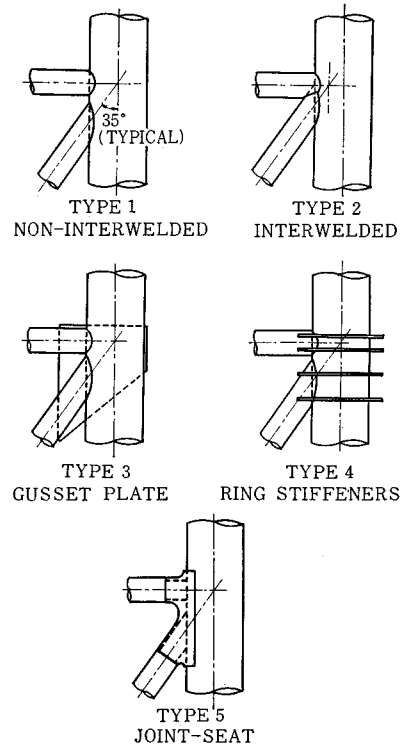


図-3 載荷装置

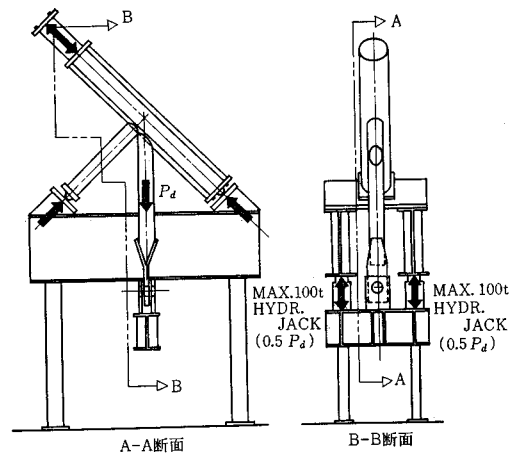
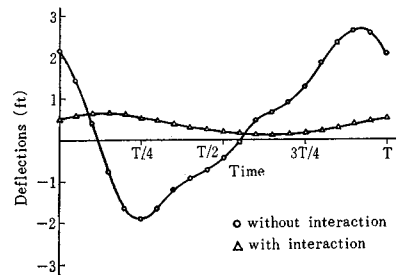


図-4 片持りの先端のたわみ



性破壊を招くかという基礎的な解説と、応力腐食割れ、疲労割れ伝播およびき裂の発生を発見する新しい技法の紹介が行なわれた。

(8) 「不確定理論的解析 (風, 波, 地震)」(J. Penzin): 不規則振動の理論を波の作用や地震による海洋構造物の応答に応用することについて論ぜられた。

(9) 「中空円柱のT継手に関する解析的研究」(A.C. Scordelis): Donnel-Jenkinsの円筒殻方程式を基礎にして、マトリックスを用いて、中空円柱部材、与えられた荷重または変位を受けた場合の弾性解析について述べたものである。そして、中空円柱のT継手(図-5 参照)に働く荷重条件を変えた場合、主部材に働く応力および変位がいかに変化するか、また、両部材の直径の比や、肉厚と直径の比がどのような影響をおよぼすかについて論ぜられた。

(10) 「有限要素法理論」(G.H. Powell): 元来、航空機構造の解析用に開発されたこの理論を、海洋掘削機の解析に応用することの可能性について述べ、平面応力に対する内挿の仮定についての選択と、板曲げの場合の有限要素法について解説された。

(11) 「中空円柱継手の有限要素法解析」(R.W. Clough): 中空円柱継手を有限要素の薄肉殻と考へて解析した場合の Digital Computer Program の特徴に関して述べられた。

(12) 「中空円柱継手の設計」(J.G. Bouwkamp): 多数の代表的な中空円柱継手が紹介され、それらに種々の大きさの交番荷重が作用する場合につき、それぞれの利害得失が論ぜられた。また、流氷の多い極北の海域や水深の大きいところに使われる作業台や掘削塔に対しては、大型の中空円柱構造が必要とされることから、最近開発された大型の継手の設計とそれに関する実験結果が報告された(図-6 参照)。

以上、California 大学における海洋掘削機に関する公開講座の模様を紹介したが、前にもお断りしたとおり、筆者には難解な点が多く、誤解しているところもあると思われるが、ご寛容いただきたいと思う。

海洋構造物としては、現在、ペルシャ湾のデューバイ沖に建設中の海底貯油槽なども注目すべきものであろう。直径 270 ft, 高さ 205 ft の半球型底無し式タンクで、容量は 50 万バレルといわれているが、構造の詳細については全くわからない。

また、現在、San Francisco~Oakland 間に建設中の沈埋式トンネルは、長さ約 6 km, 最深部の水深 40 m といわれ、海洋構造物として特筆すべきものであり、継手や工法についての研究が進んでいるそうであるが、すでにこれについては専門の方々の調査も十分行なわれていることと思う。

図-5 典型的な中空円柱の T 型継手

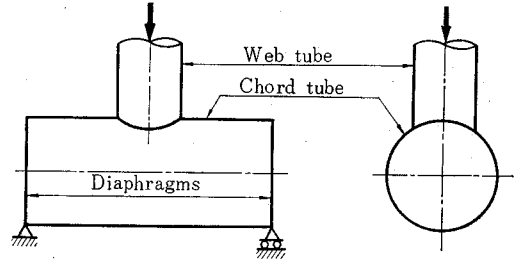
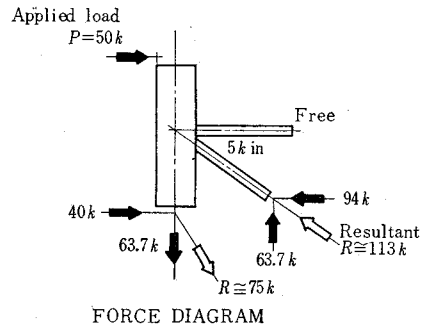
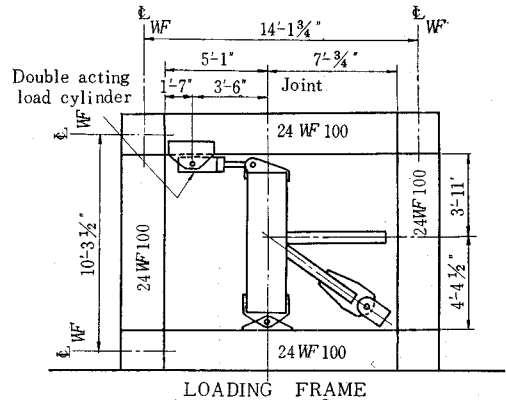


図-6 載荷装置の力のかかり方

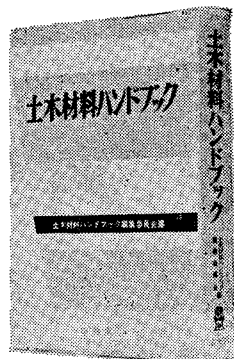


5. すむび

アメリカにおける海洋構造物研究の現状が、わが国のそれにくらべて、果たしてどの程度進んでいるかについては判然としないし、個々の研究分野について見れば、おそらくとりたてていうほどの差異はないであろう。しかしながら、海洋工学あるいは海洋土木工学というようなまとまった形による研究態勢ということになると、わが国にはそれらしいものが、ほとんど認められないのではないだろうか。このことは、われわれ民間産業で海洋構造物などを手掛けつつあるものにとって、まことに残念である。せっかく海洋開発が国の重要政策の一つにとり上げられた今日、一日も早く、それが実現して、研究の促進、人材の育成に当られるよう心から希望してやまない。

(1968.11.8・受付)

最新の土木材料のすべてを網羅した実用的解説書!



土木材料 ハンドブック

土木材料ハンドブック編集委員会 編

A5判 692頁 2,600円 千90

* 詳細内容見本進呈
(はがきでお申込み下さい)

最近の技術開発に基づき
土木材料のあらゆる分野から
最新のデータを取りあげ
詳細に解説した
土木技術者のための必備書!

〔編集委員長〕 青木 楠 男 〔幹事長〕 山田 順 治
〔委員〕 奥村敏恵 / 小野寺透 / 河野 清 / 近藤 紀 /
鈴木透明 / 中村 厚 / 樋口芳朗 / 堀川浩甫 /
松尾新一郎 / 村田二郎 (五十音順)

《主な目次》

- 1章 総論 / 概論 / 規格 / 材料の一般的性質 / 土木材料の将来他
- 2章 鉄鋼材料 / 鋼材の種類・規格 / 仮設関係 / 構造材 / 道路用材
- 3章 金属材料 / 鉄合金 / アルミニウム合金 / 規格・性質・用途
- 4章 セメント / 品質・用途 / 規格 / 試験方法 / 製造
- 5章 コンクリート製品 / 規格 / 製造 / 道路用 / 管 / ポール / くい他
- 6章 岩石材料 / 岩石物質と試験 / 石材 / 砕石 / コンクリート骨材他
- 7章 人工軽量骨材 / 種類 / 製法 / 性質 / 骨材コンクリートの性質
- 8章 土質安定材料 / 分類 / 天然材料 / 注入材料 / その他の安定材料
- 9章 混和材料 / 混和材 / 混和剤 / 規格他
- 10章 歴青材料 / 石油アスファルト / 歴青乳剤 / 舗装タール / その他
- 11章 高分子材料 / 添加材料 / 合成樹脂の一般的特性 / 各論他
- 12章 木材 / 木材の性質 / 強さ / 耐久性 / 規格
- 資料編 各材料別メーカーの製品

道路測量 I 調査・計画 鍛冶晃三 著 A5判 178頁
平井 雄 著 650円 千70

道路測量 II 設置・計算 米内 優 著 A5判 288頁
鍛冶晃三 著 950円 千90

現場技術者のための
砂防・地すべり防止工事ポケットブック 矢野義男他著
880円 千70

土木構造物の設計計算例 B5判 150頁
680円 千90

横断歩道橋 三上 澄 著 A5判 232頁
840円 千70 * 各内容見本呈



山海堂

山海堂 / 〒162 東京都新宿区細工町15 / 振替東京194982 / 電話269-4151 代表