

波と構造物に関する諸問題

総括執筆者(司会) 浜 田 徳 一*
 話題提供者 光 易 恒**
 同 合 田 良 実***
 同 橋 本 宏****

今回の波と構造物に関する諸問題のシンポジウムは、できるだけ平易に問題点を出して、よく問題を理解しあうためのものであった。そして結果的にいえば、構造物に作用する波、ことに実際あらわれてくる不規則な波と構造物との関係をどのように処理するのがよいか、という点に主眼があったように思われる。

それでは、規則的な一様な波が構造物に作用する問題はみな解けているのかといえばそうでもない。実はもっとも単純な、どの教科書にも載っている波形が正弦形をしている波についても、実測される水中の圧力と波高との関係が計算式と一致しないというようなことがある。波が自分自身のエネルギーを進行方向に輸送する計算では、水中の圧力にその点の水平粒子速度をかけて時間的に平均するという操作をするため、工学的にみても波による水中圧力は、波高とまったく同様に大切なものであるが、それがはっきりしない。

このほかに、計算がむずかしくて解けないという問題もある。重複波の圧力を出したり、孤立波の波形を求めるときなど、最近是非常に高い近似の波の運動まで計算するようになっているが、こうした高い近似の細かい運動は、本来水の粘性の作用(これは分子粘性にかぎらない)を受けやすいが、高い近似になるほど粘性等の抑制機構(この場合は)を入れた関係式の操作がむずかしくなり、いまのところは粘性の影響は数値解析の場合を除いて、初めの近似のところだけにとどめるのが普通である。

そのほか砕け波の問題とか、水底の乱流境界層の問題とか、計算や計測のむずかしいものがいろいろとあるが

実際の外洋の波や海岸に寄せてくる波が非常に不規則であることから、構造物に作用する波としてもやはり不規則性をどうするか、ということが重要になってくる。

波についてのこうした不規則性を統計量として表わしたのものには、第二次大戦中アメリカ合衆国でつくられ、戦後一般に発表せられた S-M 法という波浪予報法で用いられた有義波(1/3 最大波高)がある。これは、計測される波の高いほう 33% の平均波高であるが、ある風域での波の発達を考えると、他の領域で発生した波が入ってくることを考えれば、計測される波について比較的高いものの平均値を求め、それによりある時刻ある場所での波を代表させるという考え方は妥当であろう。

以後、現在に至るまでこの有義波の考えが用いられ、海岸や港湾の波でも 1/3 最大波高や 1/10 最大波高が使用されている。ふつう両者の差はそれほど大きなものでなく、構造物に作用する圧力は波高に比例するとおくことが多いため、計測位置や統計量の多少を考えれば、構造物の設計にもそれほど不便はないようである。しかしブロックの移動や基礎の洗掘など、流れとしての要素が加わる問題では、さらに具体的な配慮が必要であろう。

こうした各種の波高平均値の取り方の理論的根拠もこの 20 年間にいろいろと与えられており、波の表面条件による非線形性も考慮せられるようになっている。しかし、強い風が吹いて波頭部がけずりとられる場合や、海岸に近づいて砕波が繰り返される場合などについては、現在のところ経験資料によるほかはない。

次いで 50 年代の初めに、波のエネルギースペクトルムの取扱いが定式化して現われた。この方法については各論に述べられるから省略するが、注意を要するのは、その精度の問題である。実験室では装置と実験者が正しく行動すれば何回でも同じ状態をつくることができ、統計量の精度は十分満足できるまであげうるが、野外の

* 正会員 工博
 ** 正会員 九州大学教授 応用力学研究所
 *** 正会員 運輸省港湾技術研究所 海洋水理部波浪研究室長
 **** 正会員 建設省土木研究所 海岸研究室長

観測ではそうはいかない。試料の数が限定せられることによる信頼性の低下のほか、時間的な非正常性、場所的な不均質性がある。新しい様式によって微細な構造まで知ることが可能になったということ、その具体的な数値が正確であるかどうかということとは、一応切り離して考えなければならない。

そしてまた、これらは時間的・空間的な統計量であるため、極端に高い波が数波つづけて打ち寄せたため、海岸に大きな被害が起こるという場合は、この方法では取り扱うことがむずかしい。

他方、理論面では10年ぐらい前から、このエネルギー・スペクトルムの考えを使って、波の非線形の問題を高次まで取り扱い、いろいろな波長の波がいろいろな方向に向いているとき、干渉のため波のエネルギーが他の波に移っていく現象が調べられている。簡単な実験では、こうした計算も大体傾向として正しいことが調べられているが、水深がそれほど小さくないとか、粘性を省略するとか、計算を可能にするため（といっても相当複雑なものであるが）の簡略化が行なわれているため、実際構造物をつくる海域の波については、よくわからない。海岸に進行している波が表面の砕波がない場合にも減衰が大きく、底のみかけの摩擦係数が大きくなることが多いのも、この問題に関係があるかも知れない。

流れと波との関係の問題では、流れのあるとき波がどのようにエネルギーを輸送していくか、また、流れと波との間でエネルギーの交換がどうなるかが大切な問題であり、現在までのところは初歩的な面や基本的な面がわかかってきている程度であり計算はやっかいではあるが、今後すすめていく必要がある。局地的な高波には流れが関係していることがある。

現在の段階で未知のもの、代表的なものには、不規則波の砕波の問題がある。水深が大きいときの風波の実験では、有義波についての波のステープネスが1/7くらいを越えると、表面の砕波が多くなる傾向があることから、不規則波の砕波も規則波の砕波と統計的には、それほど異なっていないものと思われるが、個々の波の砕波の状態はいろいろと変化がある。水深の浅い所では長波性の影響のためやっかいな要素もあり、今後各種の面から研究を進める必要がある。

また、工学的な面に近ごろ現われてきた波の問題としては、構造物や海岸斜面にトラップされる波がある。構造物前面の水位の取扱いや、海岸地形に対するその影響を今後調べていかねばならない。長い防波堤に斜めに入射した波が不完全な反射のため、防波堤に沿って海岸に寄せてくる現象などはそのよい例である。

このシンポジウムは、昭和47年11月15日に土木学会講堂において開かれ、話題提供は“構造物に作用する

不規則な波の解析”が九州大学応用力学研究所の光易教授により、また“既設海岸堤防の特徴と問題点”が建設省土木研究所の橋本技官により、また“大水深港湾構造物に関する波の諸問題”が運輸省港湾技術研究所の合田技官により行なわれた。以下、各話題についての概説を行なう。

1. 構造物に作用する不規則な波の解析

光易は、不規則波が構造物に及ぼす力のスペクトル構造、構造物の応答特性については、とくに円柱を部材とする構造物に砕波しない波が作用する場合には、ある程度実用的な結果が得られているとする。また、海岸堤防に対する波の打上げ高や越波量については別に報告が行なわれるため、ここではもっと基礎的な波のスペクトル構造に関して解説を行なう。もちろん解説であるから、数学的な厳密さよりも、わかりやすさに主眼をおいている。同氏が扱うのはいわゆるストークス波と呼ばれる波の十分長い分散性の波をどのように組み合わせて実際の不規則な海の波を説明していくか、という手法についてである。

このような取扱い方法は深い海（水深が波長の1/2より大きい程度を普通とするが、おおよその目安のためには水深が波長の1/4くらいまではさしつかえない）の場合に一番びったりするから、同氏は深い海の場合について説明している。

海の波に関する方程式は、もともと完全には解けない性質のものであるが、最も簡単な近似としては、正弦波の波の群が不変のまま特定の方向に移動していく。水が多少かきまわされていても、そのかきまわす長さや速さの規模が波に比べて小さいときは大体これでよい。

この波を表現するのに、波高、波数、周波数の三つの量を用いる。波高と周波数はスカラー量であるが、波数は空間についてのベクトルであり、表面波では二次元のベクトルとなる。光易に従い、表面波形は

$$\begin{aligned}\eta(x, y, t) &= a \cos(k_x x + k_y y - \omega t) \\ &= a \cos\{k(x \cos \theta + y \sin \theta) - \omega t\} \\ &\dots\dots\dots (1)\end{aligned}$$

波数と周波数との関係は

$$\omega = \sqrt{gk} \dots\dots\dots (2)$$

いろいろな波数の波があるときは、他の波数の波の影響を受け、式(2)のように簡単にいかないことは世の中のことでよく似ている。たとえば、長いうねりの頂に小さい風波が載って進んでいるとき、固定点からみると ω は式(2)より大きくなる。

次に二つの波の合成を考える。波数を K_1, K_2 とし、波高は同じとすると

$$\begin{aligned} \eta(x, y, t) &= a \cos(k_{1x}x + k_{1y}y - \omega_1 t) \\ &\quad + a \cos(k_{2x}x + k_{2y}y - \omega_2 t) \\ &= 2a \cos(k_x'x + k_y'y - \omega' t) \\ &\quad \cdot \cos(\bar{k}_x x + \bar{k}_y y - \bar{\omega} t) \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

ただし

$$\left. \begin{aligned} k_x' &= \frac{1}{2}(k_{1x} - k_{2x}), \quad k_y' = \frac{1}{2}(k_{1y} - k_{2y}), \\ \omega' &= \frac{1}{2}(\omega_1 - \omega_2) \\ \bar{k}_x &= \frac{1}{2}(k_{1x} + k_{2x}), \quad \bar{k}_y = \frac{1}{2}(k_{1y} + k_{2y}), \\ \bar{\omega} &= \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

式 (3) で二つの波の進行方向が同じで、 $|\mathbf{K}_1|$ と $|\mathbf{K}_2|$ とがほとんど一致するときを考え、 x 軸を波の進行方向にとると、 $k' = k_1 - k_2$ は k_x' と一致して

$$\frac{\omega'}{k'} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{k_1 - k_2} = \frac{d\omega}{dk} \dots\dots\dots (5)$$

を群速度という。式 (3) からわかるとおり、これは振幅がある一定値をとる位置の移動速度である。また、波の条件を同じにして、 x 軸を波の進行方向から θ だけかたむけると、 x 軸に沿っての群速度は

$$\frac{\omega'}{k_x'} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{k_{1x} - k_{2x}} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{k_1 - k_2} \frac{1}{\cos \theta} = \frac{d\omega}{dk} \frac{1}{\cos \theta} \dots\dots\dots (6)$$

となる。式 (5) の $d\omega/dk$ は、別の計算からこの場合波のエネルギー輸送速度と一致するのであるが、エネルギー輸送速度は二次元のベクトルであって、 x 方向成分は

$$\frac{d\omega}{dk_x} = \frac{d\omega}{dk} \cos \theta \dots\dots\dots (7)$$

となる。

これに流れを加えるといろいろなことが起こるし、また、固定点からみて波の位相速度は正であるが、エネルギー輸送速度は負である場合もある。風洞水槽で波が発生するとき、波は風と同方向に進むが、発生領域は風下の方から風上のほうへ広がっていくこともある。

式 (3) で、 $k_{1x} = k_{2x}$ 、 $k_{1y} = -k_{2y}$ のときは

$$\eta(x, y, t) = 2a \cos k_y y \cos(k_x x - \omega t) \dots\dots\dots (8)$$

となり、short-crested-wave ができる。さらに、 $k_x = 0$ であれば重複波となる。

いままでの取扱いから、不規則波の表現が、こうした波を限りなく組み合わせるといことになるのがわかるであろう。しかし、人は心配する。そのようなことをすれば、途方もなく高い波が出ることがあるのではないかと、たしかにそのとおりであるが、その確率は非常に小さいので（現実には、ここで考慮せられていない他の要素が働いて起こらない）、そこを統計処理という手段にたよる。

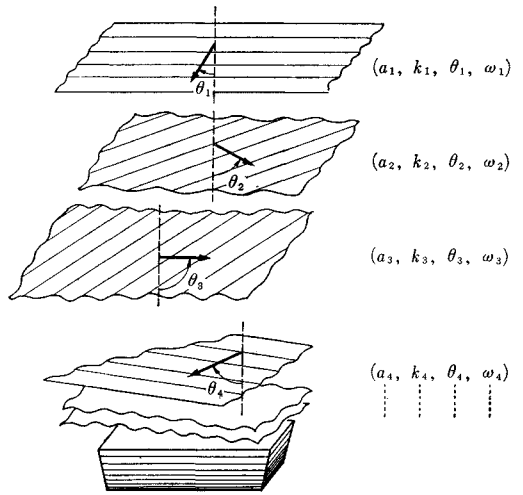


図-1 海洋波のモデル

図-1 のような多数の波を組み合わせ

$$\begin{aligned} \eta(x, y, t) &= \sum_n \sum_m a_{n,m} \cos(k_{n,m,x} x \\ &\quad + k_{n,m,y} y - \omega_n t + \epsilon_{n,m}) \\ &= \sum_n \sum_m a_{n,m} \cos\{k_n(x \cos \theta_m \\ &\quad + y \sin \theta_m) - \omega_n t + \epsilon_{n,m}\} \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

$$\omega_n = \sqrt{gk_n} \dots\dots\dots (10)$$

ω_n, k_n は常に正であるが、 $k_{n,m,x}$ と $k_{n,m,y}$ は正負の値をとりうる。そして成分波の数が十分多いため、 $\epsilon_{n,m}$ は $0 \sim 2\pi$ の間に一様に分布する。したがって、また

$$\eta(x, y, t) = \sum_n \sum_m \cos\left\{\frac{\omega_n^2}{g}(x \cos \theta_m + y \sin \theta_m) - \omega_n t + \epsilon_{n,m}\right\} \dots\dots\dots (11)$$

この η につき定常状態で η^2 の時間的および空間的な平均値を $\bar{\eta}^2$ とおき

$$\bar{\eta}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{2\pi} F_1(\omega, \theta) d\omega d\theta \dots\dots\dots (12)$$

式 (11), (12) から

$$\begin{aligned} \eta(x, y, t) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{2\pi} \cos\left\{\frac{\omega_n^2}{g}(x \cos \theta_m + y \sin \theta_m) \right. \\ &\quad \left. - \omega_n t + \epsilon_{n,m}\right\} 2\sqrt{F_1(\omega, \theta)} d\omega d\theta \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

あるいは、式 (11) による η^2 の時間についてだけの平均値をとれば

$$\bar{\eta}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} F_2(\omega) d\omega \dots\dots\dots (14)$$

とにおいて、式 (11) は

$$\eta(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \cos(\omega_n t + \epsilon_{n,m}') 2\sqrt{F_2(\omega)} d\omega \dots\dots\dots (15)$$

ただし、 $F_1(\omega, \theta) = F_1(-\omega, \theta)$ 、 $F_2(\omega) = F_2(-\omega)$ としている。ここで、 $F_1(\omega, \theta)$ が二次元のエネルギースペ

クトルム、 $F_2(\omega)$ が一次元のエネルギースペクトルと呼ばれ、最も簡単には水位変動だけで波のエネルギーが表現できることに基づく。

ついで、光易はエネルギースペクトルと相関関数との関係、測定結果からエネルギースペクトルを導く計算法、とくに最近の高速フーリエ変換法について述べる。そして、平均されたスペクトルの信頼限界を高めるため、移動平均を用いて自由度をあげようとする。また、これにより分解能が落ちることが示される。再現性のない野外観測ではこうした方法により信頼限界をあげようとするが、その結果はときとして大きな誤りを含んでいることがあり、そして、現在の段階ではこれを非難しても意味はなく、むしろこれを使用する側の判断力と余裕とが要求せられる。

最後に、周波数スペクトルの形についての議論が行なわれ、光易自身の観測と発意により、吹送距離によってその形がある程度変化すべきことが示されている。ごく簡単にいえば、吹送距離の増大とともに高周波領域のエネルギーが落ちていき、低周波領域のそれが増すということである。次いで、二次元スペクトルの方向分布関数についての言及がなされている。二次元スペクトルは一次元スペクトルよりも精度が低く、かつ得られているデータの数も現在のところ少ない。

2. 既設海岸堤防の特徴と問題点

周囲を海で囲まれている日本は、海岸線の総延長が約 2 万 9 000 km もあり、その約半分が海岸保全区域に指定されている。これらの海岸を波浪や高潮、津波などから守るために中心となる構造物が海岸堤防と護岸であり、全国各地で築造が進められてきた。わが国の海岸堤防は昭和 28 年の 13 号台風、昭和 34 年の伊勢湾台風による災害の教訓にかんがみ、堤防の高さを計画潮位に波の打上げ高（沖波波高の 1.0~1.3 倍）を加えた高さとして波の侵入を防止し、また堤防の表のり、天端、裏のり

をコンクリートなどで被覆して堤防の破壊を防ぐ、という基準に従って設計されてきた。しかし、海岸堤防の機能および安定性は必ずしもこれで十分といえず、種々の問題点を含んでいる。そこで、現地における資料を主にして、これらの点に関する水理的な観点からの話題が提供された。

まず、昭和 44 年度に事業が行なわれた約 100 か所の海岸堤防について、計画潮位上の堤防高 H_c が沖波波高 H_0 の何倍にとられているかを調べた結果が 図-2 である。この図によると、計画潮位時の水際線よりも沖側に設置されている堤防では、 $H_c/H_0=1.0\sim 1.4$ となるものが全体の 60% を占めており、築造基準にほぼ合っている。また、計画潮位においても陸上部に位置する堤防では、 H_c/H_0 が 1.0 よりも小さい例が多いことがわかる。ただ注意すべき点は、消波工を有する堤防の数が多いことである。これは、計画堤防高がひく過ぎてかなりの越波を生ずるため、その対策として消波工が併用され

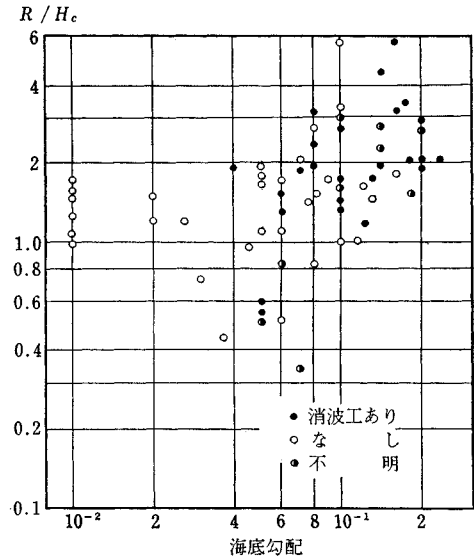


図-3 既設海岸堤防における相対打上げ高 R/H_c と海底勾配との関係

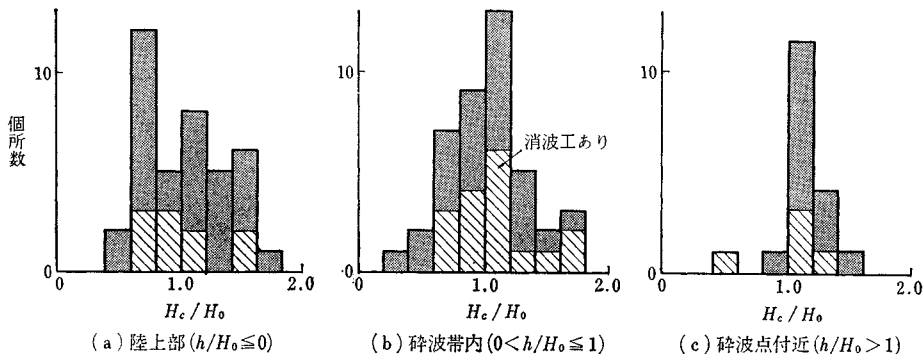


図-2 堤防高の分布の調査結果

ている場合が多いと考えられる。

図-2の海岸堤防のうち水際線よりも沖側のものについて、設計条件における波の打上げ高 R を模型実験(規則波)による算定図表で推定してみると、図-3のように打上げ高が堤防高よりも高い ($R/H_c > 1$) 場合が大半である。しかも、海底勾配が急な場合に R/H_c の比が大きくなっており、既往の基準では堤防高決定の際に海底勾配の影響が十分考慮されていないことを示唆している。消波工が設置されている例が多いのは、このような海底勾配が急で R/H_c の大きい場合である。消波工の設置によって実際には打上げ高が図-3の値よりもかなり減少し、越波が軽減されているものと考えられる。

昭和47年度に改訂された海岸保全施設築造基準解説では、天端高を、設計高潮位に来襲波に対する必要高と余裕高を加えた高さとしており、必要高としては海底勾配、堤防の利用状況、越波の許容程度などを考慮して決定されるようになってきている。このため、越波量の許容値の算定や、不規則な波による打上げや越波の現象の解明が重要になってきた。

現地波の打上げ高の分布を、平塚、浜詰、富津、青森、および庄内海岸の観測結果の発表例で調べてみると、1/3最大打上げ高 $R_{1/3}$ は平均打上げ高 R_m の1.20~1.39倍、1/10最大打上げ高 $R_{1/10}$ は $R_{1/3}$ の1.10~1.18倍であり、深海における波高のレーリー分布に比べて分布幅が狭くなっている。これは、観測例がいずれも砕波帯内の堤防を対象としており、砕波帯内の波自身の波高分布の幅が狭いことに結びついている。

海岸堤防の設計においては、規則波を用いた打上げ高と波高、周期の関係を使い、これに有義波などの諸元を適用して打上げ高を推定する方法が一般に使用されている。不規則波を用いた模型実験でこの方法を検討してみたところ、打上げ高の1/3最大値 $R_{1/3}$ の実測値と計算値は、平均的に一致した。 $R_{1/10}$ 、 R_{max} の場合は差が大

きくなり、逆に R_m の場合は差が小さい。なお、不規則波の1波ごとに規則波の関係を適用して打上げ高の分布を再構成する方式をとっても、ほとんど同様な結果が得られる。

打上げ高と越波量の関係について、庄内海岸の海岸道路護岸での実測例を上げると図-4のようになる。海底勾配1/90、堤脚水深約5m、堤防のり勾配は5分である。打上げ高の測定は堤防のり面上および堤防上の標尺により、越波量は堤防背後に壁を設けて越水を集めることによって測定された。この結果によれば、1/3最大打上げ高が堤防高を越えている状態では、越波量として $10^{-4} \sim 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ であり、越波量がこの程度以下でなければ交通に支障をきたすと考えられる。

越波量の許容値については、さきに白石・遠藤が排水溝の通水能力から $2\pi Q/H_e L_0 = (1 \sim 2) \times 10^{-3}$ を提示しており、これは周期8sec、波高4mとして $5 \times 10^{-3} \sim 10^{-2} \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ の越波量に相当する。また、合田は破壊に対する堤防の安全性から許容越波量を提示しており、たとえば三面張りの堤防では $5 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ である。すなわち、破壊に対する安全度、排水能力、交通に対する障害のいずれを対象とするかによって、越波量の許容値が大幅に変わる。このように、海岸堤防の機能を果たすためにどの程度の越波を許すことができるかという問題は背後地の状況も関係することで、今後検討していかなければならない課題である。

海岸堤防のもう一つの問題は、その安定を脅かす前面海浜の洗掘現象である。前面が洗掘されると堤体が不安定になるばかりでなく、堤脚水深が深くなるのに伴って打上げ高や越波量が増大する。海岸における砂の移動のうち、汀線付近の砂が海岸に直角方向に沖へ運び去られることに基づく洗掘の場合には、堤防のり勾配をゆるくして堤脚付近の乱れを少なくし、また前面に根固工を設けるなどの対策である程度防止することができる。しかし、近年に沿岸方向の砂の移動によって生ずる海岸侵食に伴う堤防前面の洗掘が大きな問題になっている。これは、海岸の砂の供給源であった河川の流出土砂の減少に起因する場合が多い。とくに最近では、太平洋岸の富士川、大井川、天龍川の河口付近の侵食が激しい。図-5は駿河湾の富士海岸の堤防の例であり、前浜が十分にあったときはT.P.+13mの堤防高であったが、前浜の減少に伴って堤防高が不足し、現在ではT.P.+17mにかさ上げされている。沿岸方向の砂移動による海岸侵食を堤防のみで食い止めるのはむずかしく他の工法との組合せで侵食に対処する必要があると思われる。

以上の話題提供に対し、種々の立場から討議が

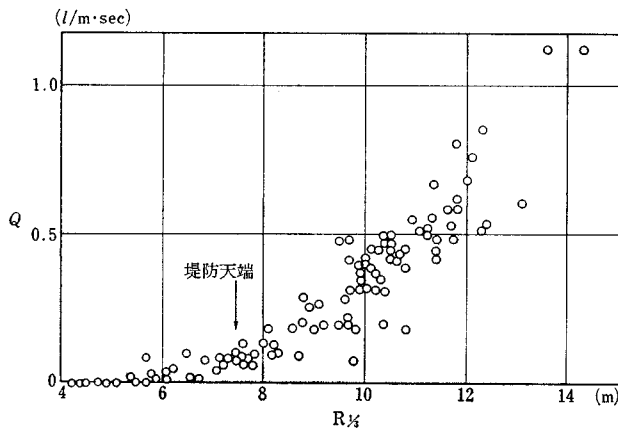
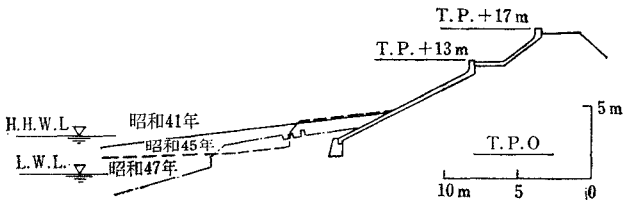


図-4 打上げ高と越波量の関係の現地測定例



(富士海岸)
図-5 海岸堤防の前面洗掘の例

行なわれた。まず、海岸堤防に対する考え方も、日本経済の発展、これに伴う背後地の資産額の増加、さらに価値観の変化などによって当然に変わるものであり、堤防高の増加や許容越波量の引き下げもこの観点から理解されるとの見解が表明された。さらに、いままでは越波の量のみが議論されてきたけれども、これからは越水の飛散距離も考えるべきではないかとして、7215号台風の際に名古屋地区で塩害のため、相当大規模な停電事故が発生した例が紹介された。ただし、越波した水塊や飛沫の飛散現象について水理模型実験でどこまで再現できるかの疑問もあり、今後の一つの問題となろう。また、背後地の安全を確保するためには、河川に河川敷があるように、海岸にも海岸敷的なゾーンを設定すべきではないか、との意見もあった。実際に現地では、コンクリート堤防のすぐ背後に民家が建つ例が少なくなく、海岸敷的なゾーンの必要性は認められる。しかし、現状では行政的に海岸地帯の幅が狭いこともあって、実現はむずかしい。

越波量の許容値については今後検討を進めるべきことが十分に認識されたが、建設費の点から許容値をあまりきびしくとることに対する異論も出た。もっとも海岸堤防の建設のメリットを、建設費と背後地の資産や被害軽減額などの兼ね合いのうえで評価すること自体もむずかしい課題である。また、越波した水の排除対策についても討議が行なわれたが現状ではきめ手となるものが見いだされていないようである。

3. 大水深港湾構造物に関する波の諸問題

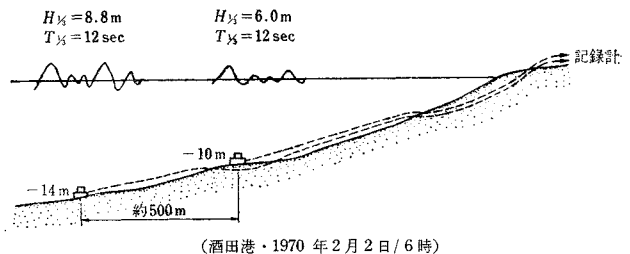
最近の港湾工事は、工事規模が飛躍的に増大するとともに、施工水深が深くなっているのが特徴である。これはタンカーや鉱石船などの巨大化に対処するためのものであり、最近の大規模防波堤の計画では、先端部の水深が-20mを越えるのが通常になりつつある。埋立地の防波護岸も-10m以深の沖合に建設する例がふえつつあり、また、石油や鉱石専用の超大型船のシーバースでは、-30m以深に棧橋形式の構造物が建設されている。こうした構造物の建設は従来の港湾建設技術の延長上に

あるとはいえ、いくつかの新しい技術的課題を提起しており、とくに波浪に関連した諸問題について紹介が行なわれた。

まず第一の問題は、沖合へ進むにつれて波高が増大する傾向がみられることである。従来、波浪観測は水深が10m付近で行なわれることが多かったが、最近の港湾構造物の大水深化に伴って波高計もより深い箇所に移設されるようになり、

この結果、最大波高の観測記録が更新される例が目立ってきた。この典型的な例が、図-6に示す酒田港の観測値である。図示したように、-14mの波高計が $H_{1/3} = 8.8\text{m}$ の有義波を記録したのに対して、これからわずか500m程度しか離れていない-10m地点では $H_{1/3} = 6.0\text{m}$ の有義波しか観測されていない。この2地点の間における海底摩擦や屈折による波高減少は微弱であり、減衰の主原因は波高の大きな波に対する選択的碎波であると推定される。すなわち、潮位1m程度を考えると、-10m地点では $T=12\text{sec}$ として碎波高が $H_b = (0.7 \sim 0.8)h = 8 \sim 9\text{m}$ であり、それ以上高い波は途中で碎けてしまっているはずである。このことは、逆に-14m地点の観測値自身も碎波による減衰効果をすでに受けたものであり、沖合ではさらに大きな波が発生していたのではないかと疑問を投げかける。

こうした碎波による不規則な波の減衰現象は、最近ようやく研究課題として取り上げられるようになったばかりで、まだまだわかっていない。試みに、近似計算として沖合で波群中の波高がレーリー分布で表わされ、浅海へ進むにつれて碎波限界以上の波が碎け、その残りの



(酒田港・1970年2月2日/6時)
図-6 水深による波高変化の観測例

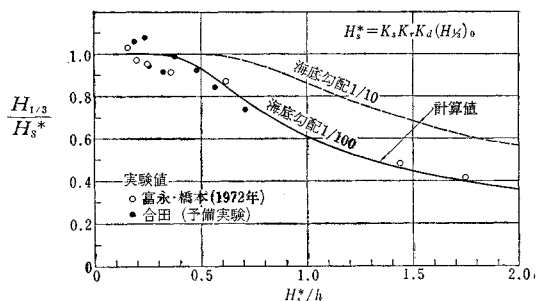


図-7 碎波による1/3最大波高の減少率

エネルギーが波高の低い部分へ再配分されると考えると、図-7のような結果が得られる。この図は、砕波の影響をまったく考えないときの仮想通過波高 H_s^* に比べ砕波の作用を受けたあとの $1/3$ 最大波高がどのように減少するかを示すもので、 $H_{1/3}/H_s^*$ の比は砕波係数とも呼ばれよう。この近似計算の結果は、不規則波を用いた一、二の実験結果とほぼ合致している。 $H_{1/3}/H_s^*$ の比が図-7のような値をとるか否かについては今後十分に検討する必要があるけれども、このような傾向は実際にも存在するものと考えられる。

次に、大水深における防波堤の問題点としてあげられるものは、増大する設計波高に対して使用すべき波圧公式の妥当性および反射波の影響の増加である。従来は水深に比べて波高がかなり大きかったため、砕波に対する広井公式がほとんどの場合に適用されたけれども、水深が 20 m 程度になると、設計波高が相当大きくても重複波に対するサンフルー公式が適用できるケースが多くなる。しかし、広井公式とサンフルー公式とでは波圧強度に大きな差があるため、ある水深を境にして設計波圧が急減する矛盾が表面化する。模型実験によれば、波圧の変化は連続的であることが認められており、設計波圧の不連続性の難点を解消した波圧公式の樹立が望まれている。こうした公式の一つとしては、伊藤による次の実験公式があげられる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\bar{p}}{w_0 H} &= 0.15 + 0.55 \frac{H}{d} : H > d \\ &= 0.7 : H \leq d \end{aligned} \right\} \dots\dots (16)$$

ここに、 d はマウンド上の水深であり、波圧の作用範囲は静水面上 $1.25 H$ または防波堤天端高のいずれか低いほうまでである。さらに伊藤は、この公式で防波堤の安定性を検討する際の波高としては、原則として最高波高 H_{max} を用いるものとし、その値は $2 H_{1/3}$ またはその地点の限界砕波高 H_b のいずれか小さいほうをとることをすすめている。この実験公式の適用範囲については検討の余地があるけれども今後はこうした最高波高 H_{max} を対象とした統一的な波圧公式の方向へ進むものと思われる。

大水深の防波堤にあっては、波高がかなり大きくとも波が重複的に作用し、顕著な反射波を生じやすい。こうした反射波は、次のような問題をひき起こす。

- ① 隣接地区へのじょう乱波の生成
- ② 隅角部における波高、波圧の増大
- ③ 回折効果による局部的波圧の増大

したがって、大水深防波堤の計画にあたっては、このような点の検討も必要になる。

新形式の構造物であるシーバースの耐波性に関しては

- ① 波に対する動的応答

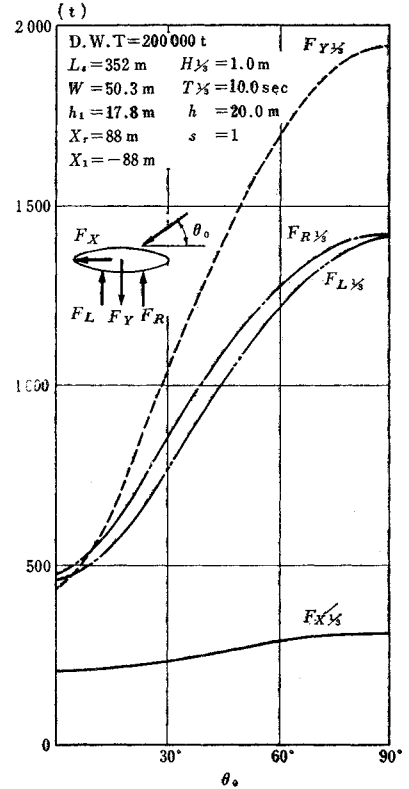


図-8 シーバースに固定された船体に働く波力の計算値

- ② ドルフィンの床版に働く揚圧力
- ③ 係留中の船体から伝達される波力および船体の動揺による衝撃力

が検討事項としてあげられる。とくに第三の船体波力はいままで設計にあまり考慮されなかったけれども、条件によっては相当の大きさになる可能性がある。20万重量トンのタンカー（全長 352 m）を例にとり、船体がシーバースに剛結されているものとして、楕円柱体の回折波理論で波力を計算すると、図-8 のような結果が得られる。これによると、 $H_{1/3} = 1.0$ m、 $T_{1/3} = 10$ sec のうねりを真横から受けるときは、 $1/3$ 最大値が船腹方向に 1950 t もの力が働き、各固定点には 1450 t の力が作用することになる。さらに、これらの力は往復荷重であって、押し、引き、ともに同じ大きさで作用する。これらの波力の値そのものは実際の船体の動揺などによってある程度減少するであろうが、やはり相当に大きな力が働くことは確実と思われる。このことは、シーバースの計画において波による稼働率の低下を防止するために、うねりの来襲のひん度の高い地点を避けるべきことを意味しているといえよう。

以上の話題提供に対して、次のような質疑が行なわれた。まず、大水深という語からは少なくとも 50~100 m 地点の構造物が想像されるとの意見があり、これに対し

ては、港湾構造物としての機能を考えると本格的な大水深を対象とするのは遠い将来と思われるので、現在ならびに今後数年のうちの構造物を主にして問題点を拾いだした旨の説明があった。また、構造物としても従来のような混成堤を主にしたものだけでなく、大水深における地耐力の低下などの悪条件下においては、脚柱に支えられたプラットホーム形式のような構造物が使われるであろうから、こうした構造物の波に対する応答性が今後の一つの課題ではないかとの意見が出された。

設計波に関しては、従来の有義波表示を改めて最高波 H_{max} のみで表わし、その出現確率などについて議論すべき時期にきているのではないかとの討議があった。たしかに、個々の構造物の設計にあたっては H_{max} 方式に進むであろうが、波群全体の表示としては有義波などの代表値が使いやすく、また波浪推算などとの関連もつけ

やすい。また、構造物の耐用年数などを考えた確率的な議論の必要性も指摘されたが、このような検討を進めていくためにも、十分深い場所での波浪観測値の集積が要望される。

防波堤からの反射によるじょう乱波については、大水深防波堤、すなわち大規模防波堤であり、長さ数 km のものが各所に建設されている現状から、その重要性が力説された。反射波は水面のじょう乱を増すだけでなく、遠く離れた地点に思いがけない海底変形を起こすことが考えられ、低反射率の防波堤の構造形式の開発が課題として認識された。

なお、本格的な大水深域においては、内部波も設計外力の一つになりうるのではないかとの発言があったが、今後の興味ある問題と思われる。

お知らせ

会誌編集委員会

今般、第 I 編として収載いたしました論文は全部で 8 件でございます。第 1～第 7 の論文は土木学会昭和 47 年度全国大会研究討論会から、第 8 の論文は第 2 回海岸工学シンポジウムによったことは前述のとおりでございます。

ただし、全国大会研究討論会で研究発表されました件数は全部で 8 件でございます。本来ならば全編を取めて第 I 編は 9 件の論文を収載すべきでございますが、下記論文に関しましては筆者の都合にて収録することができませんでした。話題提供者の方々にこのことお詫び申し上げますとともに、関係各位にお知らせ申し上げます。

論文名：都市産業廃棄物の処理（座長・岩井重久）

話題提供者：森下忠幸（厚生省）・平岡正勝（京大）・高月紘（京大）・花島正孝（福岡大）・岩下彰郎（福岡市）、以上敬称略

備考：本論文の話題提供に関しては「第 27 回年次学術講演会講演概要集、第 2 部」によって下さい。

確率論手法による構造解析

星谷 勝著

A5判 180頁 ¥1,500

構造物の設計・解析において必要不可欠な、確率・統計論手法を説き、土木・建築の構造工学者、技術者を対象とし、静的・動的両部門にまたがって、とかく難解となりがちなこの種の内容をわかりやすく扱った著作である。東大教授 伊藤 学・推薦

土木工事標準積算便覧

工事費積算研究会編・重版出来！ B5判 300頁 ¥3,500

工事費積算の体系化を行ない、最近の機械化施工や工事の施工実績に基づく標準歩掛を確立した書。

現場技術者のための

土質工学・重版出来！

最上武雄・福田秀夫共編

B5判 420頁 ¥2,500

建設現場の積算・施工に従事するすべての技術者の必携書として、土質技術者養成のテキストにも最適。

トンネル技術者のための

岩盤力学入門

Q, イザクソン著

A5判・260頁 ¥1,400

国鉄技研地質研究室・高橋彦治・小林芳正共訳

地圧の問題を懇切に解決し、これまで比較的稀薄であった分野を埋める意義ある書——岡本舜三

凍結工法

ドルマン、トルウバック共著／原田千三訳編

A5判 230頁 ¥2,200

土質工学の基礎——土の力学的挙動

ヤン、ワーケンティン共著／山崎不二夫、山内豊聡共訳

A5判 450頁 ¥2,400

現場技術者のための

都市土木——土と水の諸問題

福田秀夫・坂野五郎共編

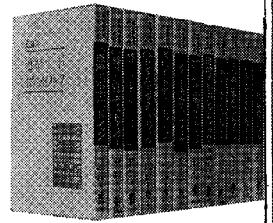
B5判・300頁 ¥2,800

* 小社は注文制を主にしていますので、万—店頭がないときは書店にご注文下さい。

明日を築く
知性と技術

鹿島出版会

107東京都港区赤坂 6-5-13 電話582-2251 振替東京180883



現場技術者のための

土木工事ポケット

全12冊

*各新書判/上製函入
*平均382頁

■推せん者一覽(順不同)

- 高橋国一郎(建・技監)
- 松村賢吉(建・河川局長)
- 菊池三男(建・道路局長)
- 久保赴(建・都市局)
- 山本純(農・構造改善局)
- 岡部保(運・港湾局長)
- 内田隆滋(国鉄常務理事)

土木工事ポケットブック 全12冊

- 新版道路工事ポケットブック
多田宏行・矢部正宏著 ¥950
- 改訂橋りょう工事ポケットブック(I)
鈴木・三上・青木・岡田著 ¥1000
- 橋りょう工事ポケットブック(II)
鈴木・三上・池田・青木著 ¥1000
- 新版トンネル工事ポケットブック
斎藤・吉村・野沢・藤井著 ¥1400

- 河川工事 ポケットブック
岡崎忠郎・畠山伸一著 ¥1200
- ダム工事 ポケットブック
相原信夫編 ¥1200
- 砂すべり防止工事 ポケットブック
矢野・谷・釣谷・渡者 ¥1000
- 港湾工事 ポケットブック
大島・佐藤・大場著 ¥1200
- 上水道工事 ポケットブック
松田暢夫著 ¥1300
- 下水道工事 ポケットブック
岩塚良三著 ¥1300
- 土木安全施工 ポケットブック
森・浜武・前・加来著 ¥1300
- コンクリート工事 ポケットブック
大内・秋元・小原・小泉著 ¥1500

道路建設講座 全12巻

高橋国一郎
神谷洋
池上雅夫
監修

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1 一般道路の計画と設計
渡辺・田口・宮田著 ¥1400 | 7 道路舗装の維持修繕
藤原 武者著 ¥1200 |
| 2 高速道路の計画と設計
武部・土屋・七宮著 ¥1500 | 8 道路構造物の設計と施工
神谷・玉野・沢井・齊木・藤井著 ¥2000 |
| 3 道路土工(I)一般土工
川崎・伊勢田・土肥著 ¥1800 | 9 道路トンネル
村上良丸・長友成樹著 ¥1800 |
| 4 道路土工(II)軟弱地盤処理
山村・上田・三谷・近藤・中山著 | 10 道路の交通安全付属施設
多田・有山・松下著 |
| 5 道路舗装の設計
松野・養王田・三浦・飯島著 | 11 工事管理の実務
小倉二郎著 ¥1500 |
| 6 道路舗装の施工
近藤・杉田・千葉・佐鳥著 ¥1400 | 12 道路舗装に関する試験
南雲・瀬戸・佐鳥・山下著 |

建設省河川局監修 日本河川協会編

日本河川水質年鑑

1972年版 B5判 720頁 5800円

全国的視野における水質汚濁の概要、各地方、河川ごとの現況および汚濁対策等を明記した最新年鑑。主要目次一全国一級河川の概況/水質汚濁対策の進展と課題/公害防止計画の水質汚濁問題/各地方の河川水質/河川水質保全の法制度変遷/湖沼生態系の危機/汚濁源と排水の水質他

地震応答解析と実例

48年2月6日～7日の講習会には450名参加す——土木学会耐震工学委員会編

●B5判・470ページ・8ポイント一段組・図版・表など1000個・上製箱入特製豪華本●
定価5000円 会員特価4500円(〒200円)

本書の内容は基礎編に応答解析の基礎的事項および共通的事項をまとめ、応用編に各種構造物の解析の実例をわかりやすく記述し、最後には地震観測事例の紹介を加えてある。解析の実例は各方面で個別に実施された解析法を集録したので、説明の重複、用語の差異などがあるかも知れないが、各種構造物の応答解析の現状を理解し、解析の参考書として価値あるものと思われる。これらの解析法に関しては、まずそれに用いるべき質量、ばね、減衰などの数値の決定、地震波または地震応答スペクトルの決定、解析の精度、構造物の終局強度の決定など数多くの問題を内蔵しながらも、設計に反映して検討され、また調査研究の進歩に伴って日進月歩の状態にあるので、本書にとらわれることなく、これを踏台としてさらにより適切な応答解析法の開発と設計への適用が望まれる次第である。〈序文より抜粋〉

第1編 基礎編

- 第1章 概説 1.1 はしがき 1.2 静的解析法と動的解析法 1.3 加速度による応答と変位による応答
- 第2章 振動論 2.1 問題処理の基礎知識 2.2 振動論 2.3 波動論
- 第3章 地盤の震動特性 3.1 地震波動 3.2 地盤の地震応答と卓越周期 3.3 地盤の諸定数
- 第4章 地震外力 4.1 強震記録 4.2 応答スペクトル 4.3 模擬地震動
- 第5章 理想化された構造系 5.1 一般 5.2 弾性系構造物の理想化 5.3 弾塑性系構造物の理想化 5.4 弾性床上の構造系
- 第6章 地震応答解析の方法 6.1 一般 6.2 構造物の地震応答解析法の種類 6.3 応答スペクトル曲線を用いる地震応答解析法 6.4 地震動の波形を用いる地震応答解析法
- 第7章 構造材料と土の動的特性 7.1 鋼材 7.2 コンクリート 7.3 鉄筋コンクリート 7.4 土
- 第8章 解析結果に対する評価 8.1 破壊の考え方と安全率 8.2 誤差評価 8.3 安全度の評価 8.4 動的解析の実用性

第2編 応用編

- 第9章 橋梁 9.1 一般 9.2 高橋脚をもつ橋の地震応答解析 9.3 杭基礎の橋 9.4 カンチレバーによるPC橋 9.5 吊橋 9.6 高架橋インターチェンジ 9.7 橋の非線形応答
- 第10章 ダム 10.1 まえがき 10.2 コンクリートダム 10.3 フィルダム
- 第11章 土構造 11.1 一般 11.2 盛土 11.3 締切堤防の耐震性と地震応答解析(有明海締切堤防(計画)の耐震性調査)
- 第12章 港湾構造物 12.1 鋼直杭棧橋 12.2 脚柱式棧橋 12.3 矢板岸壁
- 第13章 電力施設 13.1 電力機器の耐震設計 13.2 原子力発電所の耐震設計 13.3 原子力発電所排気筒 13.4 35000kV 液化ガスタンク基礎の耐震性 13.5 貯油タンク基礎の耐震性
- 第14章 都市施設 14.1 地下構造物 14.2 高架タンク(羽村調圧水槽) 14.3 塔状水槽の動的解析例(小雀調圧水槽)
- 第15章 その他の構造物 15.1 建築物の地震応答解析と実例 15.2 高炉の耐震設計の一例 15.3 埋設パイプライン
- 第16章 地震応答観測 16.1 地震応答観測の目的と方法 16.2 橋梁の地震応答観測例 16.3 ダムの地震応答観測例 16.4 港湾構造物の地震応答観測例 16.5 沈埋トンネルの地震応答観測例 索引

〈書店に予約されても結構です。その場合は会員割引は適用されません〉

●新刊発売中

コンクリート・ライブラリー 35

アルミナセメントコンクリートに関するシンポジウム

——付・アルミナセメントコンクリート施工指針(案)——

◆B5・140ページ 1300円 会員特価 1150円(〒140円)

●創立 59 年の土木学会が 8 年の歳月をついやし、総力を傾けて作りあげた四半紀の大土木史ついに完成!

日本土木史 昭和 16 年～昭和 40 年

土木学会日本土木史編集委員会編集——昭和 48 年 4 月末日出版

B 5 判 2050 ページ・特製箱入豪華本・背革皮製・図版写真 1300 点余

<青木楠男委員長の序文> 土木事業は、あらゆる技術活動のなかでも最も長い歴史を有するもののひとつである。しかも、土木技術は、自然を相手とし土地に技術の成果を刻んだり積み上げる仕事であるので、従来の土木事業による下絵の上に次々と開発を加えていかなければならない。したがって単に自然を克服する技術開発のみならず、下絵との調和を保つ技術の発展につねに留意して、はじめて、土木事業を文明の発展に寄与させることができる。

土木史編纂の意義は単に先人の記録をのこすにとどまらない。土木事業とそれが社会へ与えてきた影響を知ることによって、すなわち下絵への理解を前提として、その土地への新しい土木事業の立案と実現に際しての必須の知恵を提供することに、土木史作成の現代的意義がある。土木学会においてはつねに日本土木史の編集に努力を重ねており、つとに昭和 11 年には「明治以前日本土木史」を、さらに学会創立 50 周年記念出版事業として昭和 40 年に「日本土木史一大正元年～昭和 15 年一」を出版した。今回の「日本土木史一昭和 16～40 年一」はこれに引続く刊行であって、これらに「明治工業史」(土木篇)および(鉄道篇)を加えれば有史以来昭和 40 年までの日本土木史が一応出揃ったことになる。

今回の日本土木史が扱った期間は、第二次世界大戦から戦後の混乱と復興、高度成長を支えた産業基盤育成、さらに生活環境充実が叫ばれる昨今に至るまでの時代であり、土木界は激動の中に力強い発展をとげた時代である。それだけに土木界の活動の内容は豊富多彩であり、土木界の関与する対象も広範化かつ複雑化してきた。現代史であるだけに、叙述も主として正確な記録の選択と整理に力点が置かれ、全体の構成にあたっては、前回の日本土木史との関連に留意しつつ、新しい状況への対応に心がけたつもりである。

ここに本史の編集および執筆にたずさわった約 250 名の方々のご努力に深く感謝するとともに、本書に記録されている土木界の方々のすぐれた業績と貴い奮闘に深甚なる敬意を表したい。

本書が前述の他の日本土木史ともども正確な土木史料として長く利用されることを念願する。また、本書が汎く各界の人々に親しまれ、今日のわれわれの国土建設がどのような背景で生まれ、どのような経過と技術の駆使によって実行されてきたかの理解に役立てば幸いである。

内 容

申 込 先

丸善をはじめ全国主要書店
または土木学会刊行物頒布
係へ予約でお申込み下さい
完成しだい配本を開始いた
します。

1. 総論
 2. 水理学
 3. 応用力学
 4. 土質工学
 5. 測量学
 6. 土木材料
 7. コンクリート
 8. 建設機械
 9. 都市計画・地方計画
 10. 道路・道路橋
 11. 鉄道
 12. トンネル
 13. 上水道・下水道・工業用水道
 14. 河川・運河・河川総合開発・砂防・治山・海岸
 15. 港湾・漁港・空港・航路標識
 16. 発電水力
 17. ダム
 18. 農業土木
 19. 軍事および防衛土木
 20. 土木教育
 21. 土木行政
 22. 土木建設業・コンサルタント業
 23. 学協会
- 日本土木史総合年表(明治元年から昭和 40 年までの 100 年間の年表)ほか

定価 36000 円

会 員 価 2400 円

(〒 600 円)

予約申込受付中

日本土木史一大正元年～昭和 15 年一は品切れ・複製中・定価 24000 円