

道路橋下部構造の指針に関する最近の話題

吉 田 巖*

1. ま え が き

土木構造物の設計・施工指針の作成は、現在、土木学会、道路協会のような学協会を中心に委員会組織で運営されているものと、工事実施機関を中心に運営されているものがある。後者に属するものとしては、港湾構造物設計基準が有名であり、道路公団、首都公団などにも同じ動きがある。

ここでは、道路橋下部構造の設計・施工指針のうち最近制定されたものの内容を中心に、その制定にあたった道路協会橋梁委員会下部構造分科会の活動状況と、今後の活動目標などについて触れてみたい。

2. 道路協会橋梁委員会下部構造分科会の活動経過

道路協会の橋梁委員会の中に下部構造小委員会が設置され、指針作成の活動に入ったのは昭和 36 年である。道路協会橋梁委員会は長い歴史を有し、その所産である鋼道路橋設計示方書は、あまりにも有名である。

ここに規定されている内容は、橋梁上部構造、いいかえればシューから上の構造系について規定されていて、それから下の構造系、すなわち下部構造については全く触れられていない。

話はいささかそれるが、青木楠男博士の手による本邦道路橋集覧は、昭和初期に建設された道路橋の諸元と、その全景写真を集録したものとしてきわめて価値の高いものであるが、残念ながら、下部構造についての記述がほとんどなされていない。木ぐい基礎なのか、ウェル基礎なのか、それすら判然としてないものがある。その当時の橋梁建設事情を考えると、次のようなことがいえる。すなわち、橋梁の建設地点は基礎工の施工の容易

な良質な地盤の地点が選ばれ、その架橋地点を重要な道路計画上のポイントと考えて道路が決定されていた。従って、橋梁総工費における下部構造費の占める割合は比較的小さく、従って、記録の対象にならなかったのかもしれない。

しかし、戦後道路線形の論議が高まり、また用地の取得が困難になり、あるいは市街地を避けてバイパス工事が盛んになるにつれて、基礎工の施工容易な架橋地点を選択をするという自由は、極度に制限されることとなった。

その結果、下部工の工費の増加を呼び、改めてその重要性が認識されることになったが、さきの下部構造小委員会の発足当時、全く拠るべき指針は見あたらず、わずかにすでに発刊されていた建築基礎構造設計基準があるのみであった。この基準は、第二次大戦後の戦災復興工事が一段落し、本格的な建設工事が再開されるにあたって、建設省建築研究所を中心に建築基礎の設計基準を集大成したものであり、解説には計算例題まで記述してある、きわめて親切で、しかも、その当時において期待できる最高のレベルでまとめられてあった。

わが国において、基礎構造の基準が全く見あたらないうちに、まとめあげられたということだけでも敬服に値する労作であり、傑作であった。

この基準を土木技術者が手にして自らの不勉強を自覚するとともに、公共構造物という性格の特に強い道路橋の下部構造の設計基準を、公共性という点に特に力点を置いて、その思想の上に乗っての基準をつくらうという動きが起ったのは当然の成り行きであった。

このような事情を背景に下部構造小委員会が発足し、くい基礎、ケーソン基礎をまず取り上げて原案の作成、審議、修正の繰り返し、月 1 回ないし 2 回のピッチで進められた。

このような作業の結果、現在までに次に述べる設計指針が出版・公開された。最初の企画としては設計基準の作成にあったが、審議の結果、基準として公刊するには

* 正会員 工博 建設省土木研究所構造橋梁部基礎研究室長
日本道路協会橋梁委員会下部構造分科会長

あまりにも未解明の点が多く、しかもそれらの解決を待つことは、発刊を急ぐ外部からの要請もあってできないため、指針という体裁で世に問い、世の技術者の意見を入れて、加筆改訂のうえ、基準にするというように考えた。従って、建築基礎構造設計基準のように、完全な全冊にならなくとも、逐次まとまったものから公刊する方針を打ち出した。すなわち、

- | | |
|--------------|--------------|
| ① くい基礎の設計編 | 昭和 39 年 3 月 |
| ② 調査および設計一般編 | 昭和 41 年 11 月 |
| ③ 橋台・橋脚の設計編 | 昭和 43 年 3 月 |
| ④ 直接基礎の設計編 | 昭和 43 年 3 月 |
| ⑤ くい基礎の施工編 | 昭和 43 年 10 月 |

このほか、くい基礎の設計編の追補として「PCぐいの設計」を追加しており、また現在もケーソン基礎の審議を継続中であるが、ようやく本年中に最終案をまとめるに至っている。

なお、試験編については、第一次原案の審議途中であるが、土質工学会において、試験法、調査法の改訂、くいの載荷試験法の制定などの作業が行なわれているためそちらの作業の進展待ちの形である。

以上が概略の経過であるが、43年に制定をみた直接基礎の設計編、くい基礎の施工編、および近く制定になるケーソン基礎の設計編については、下部構造分科会での指針作成の基本的な態度と、問題点が浮きぼりにされていると思えるので、以下いささか紙数をお借りして解説を試みたい。

3. 最近制定をみた指針の特色

ここでは最近制定を見た直接基礎の設計編と、くい基礎の施工編について、その特色といえるものについて説明を加えてみる。

(1) 直接基礎の設計編

直接基礎は、土質基礎工学用語の分類からいえば、浅い基礎にあたる。一般にはフーチング基礎ともいわれるものであるが、下部構造指針では次のように定義している。

“直接基礎とはくいまたはケーソンなどの深い基礎によらず、荷重を直接良好な支持地盤に伝える形式の浅い基礎をいう”

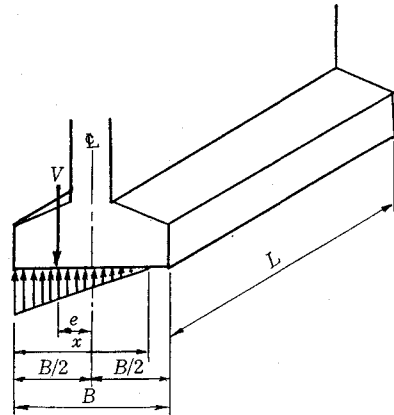
多少明確さを欠く嫌いがあるが、浅い基礎と深い基礎の境界が判然としない性質上やむを得まい。ただし、施工法や構造物の形から単純に分類してはならないことを示唆しているのである。施工法として、ケーソン工法を採用していて、基礎の形式からは浅い基礎すなわち直接基礎として設計しなければならないことが当然ありうる

のだという考えである。

この指針においては、基礎に働く外力を主としてその底面で分担させるという考えに立っていながら、なお良好な地盤に根入れされているときには、その根入れ部分の分担を考慮してよいとしている。

しかも、設計計算上、根入れ部分の分担については、根入れ部分すなわち前面の抵抗を1つのばねと考え、底面のばねとの比率分だけ、それぞれが分担するという計算方式を採用している。

図-1



$$H_B = \frac{1}{1 + \beta_H} \cdot H, \quad H_S = \frac{\beta_H}{1 + \beta_H} \cdot H$$

ここに、

H_B : 基礎底面に作用する水平力 (t)

H_S : 基礎の根入れ部分に作用する水平力 (t)

H : 基礎から地盤に作用する全水平力 (t)

$$\beta_H = \frac{K_H \cdot D_f'}{2 K_B \cdot B}$$

K_H : 水平方向の地盤反力係数 (kg/cm³)

K_B : 水平方向の地盤のせん断ばね係数

(kg/cm³)

B : 基礎幅 (m)

D_f' : 支持層かあるいは支持層と同程度良好な根入れ層の深さ (m)

基礎底面における全作用モーメントを基礎底面と根入れ部分に分けて次式で求める。

$$M_B = \frac{1}{1 + \beta_M} \cdot M, \quad M_S = \frac{\beta_M}{1 + \beta_M} \cdot M$$

ここに、

M_B : 基礎底面に作用するモーメント (t-m)

M_S : 基礎底面を中心とする根入れ部分に作用するモーメント (t-m)

M : 基礎底面における全作用モーメント (t-m)

$$\beta_M = \frac{K_H}{K_V} \left(\frac{D_f'}{B} \right)^3$$

K_V, K_H :鉛直および水平方向の地盤反力係数
(kg/cm^3)

B :基礎幅 (m)

D_f' :支持層かあるいは支持層と同程度良好な根入れ層の深さ (m)

この計算に採用する水平ばね,せん断ばねの計算には地盤の変形係数をそれぞれの地盤に固有のものとし,それを基準に,載荷幅の影響,載荷板の形状の影響などを入れて補正する方式を採用している。地盤の変形係数の推定については,サンプリングの結果,得られた試料に対する一軸,三軸圧縮試験結果からの推定,平板載荷試験の利用,ボーリング孔内での載荷試験結果の利用について述べるほか,地盤調査の際に求めた標準貫入試験結果,すなわち N 値からおよその変形係数を推定する経験式を示した。

$$E=21 N \text{ kg}/\text{cm}^2$$

この関係式は,全くのめやす的なものであるが,地盤の不均一性,地盤調査の精度から考えると,計画設計を行なううえでの予測値として,十分使用可能のものと判断し,大胆な推定式を提唱しているのである。

次に,直接基礎の設計において新たに持ち上げた設計法として,偏心,傾斜荷重を受ける状態での支持力の推定の問題がある。

在来の基礎の設計法では,支持,滑動,転倒の三条件に対し必要な安全率を確保する方針を採用し,特に,支持については,釣合式から求めた底面の最大底面反力度が,地盤の許容支持力度を越えないということから定めていた。この場合,地盤の許容支持力度は,平板載荷試験結果などを参考に地盤に固有のものとしている。

塑性論を基調に展開された各種の支持力論によれば,地盤支持力は地盤のせん断特性のみならず,載荷幅,載荷条件(荷重の偏心,傾斜)によって左右されることが示されている。

このようなことが判然としていながら,なお,地盤の許容支持力度という地盤に固有のものとして取り扱い,設計してきたのは,直接基礎として設計されてきた構造物の規模が比較的小さく,基礎の変形の問題を設計作業上考慮せずに作業を進めても実害を伴わないこと,従って支持力度を定めて設計する便法をとっても十分な設計目的を達し得たことにはほかならない。

ところが,直接基礎として設計されるものの中にも,寸法の大きな構造物が出現するにおよんで,経験的に安全側に支持力を定め,きわめて簡単な計算ですませることが経済性を追及する合理的な設計作業と相反することに気づくに至った。

以上のような事情から,全般せん断破壊を前提とした極限支持力を載荷幅,荷重条件を考慮したうえで定め,

基礎工学で一つの通念となっている破壊安全率3ないし2を確保するとともに,別に基礎の変形を計算し,その影響をチェックする設計方式を採用することとした。

このような基本方針を堅持しながら,構造物の規模,重要度,荷重の偏心傾斜の影響が小さいときには,従来の設計法を踏襲してよいこととしている。

なお,従来の設計法において,転倒の安全率の定義については,その抵抗モーメントの決定に異論もあり,不明確であるため,指針では次のように定めた。

すなわち,常時,持続荷重が作用する条件では基礎底面における荷重の作用位置が基礎外縁端から測って,底面幅の1/3より内側になければならない。

また,地震時においては,1/6より内側になければならないとした。

(2) くい基礎の施工編

くい基礎は,施工上大別して,打ちこみぐいと場所打ちぐいからなる。この指針ではこのうち,打ちこみぐいのみを対象としている。

くいの材質からいえば,鉄筋コンクリートぐい(遠心力利用のものとしてでないものがある),プレストレスト鉄筋コンクリートぐい,鋼ぐいに分れる。くい基礎には,戦後急激にその使用実績をあげてきた場所打ちぐいもあるが,指針として世に出すには未解決の問題も多く,この指針から除外している。

打ちこみぐいの施工指針の内容として,その特徴とする点として次の点をあげることができる。

① 鉄筋コンクリートぐい,PCぐい,鋼ぐいを中心に規定し,現行のJIS規格の内容において不十分の点を補足した。

② 打ちこみ設備の選定基準を示した。特にハンマー容量選定のための資料として,打ちこみ時に,くい頭に生ずる打撃応力の算出図表をのせ,利用者の便をはかった。

③ 打ちこみのときに生ずるくいの傾斜,ずれについて,具体的な許容値を示した。

④ 打ち止め時期を決定するのは,既製ぐいの施工にあたって,責任技術者の最も重要な判断事項になる。この規定では,特に打ちこみすぎによるくい材の破損防止に重点を置き,総打撃回数,最後の10m部分の打撃回数に制限を加えることとし,打ち止め時の沈下量を2mm前後と指定した。

⑤ くい打ち公式としてHiley式を採用し,式の取り扱いに対する見解として,この式のみから支持力を求めることを戒めるとともに,支持力のばらつきを少なくするための,施工管理手段として,使用すべきことをすすめている。

⑥ くい打ちに際して、責任技術者があらかじめ、おのおののくいに対する制限打撃回数と打ち止め時における貫入量を施工者に指示することを規定した。また打ちこみ作業中は、打ちこみ記録をとることを規定し、標準的な様式を示した。

⑦ くい継手は、溶接またはボルト継手によることを原則とする、との態度を明示した。

⑧ 現場溶接継手の施工管理は、この指針において最も力を入れた点である。そのため各施工現場において、施工者は施工管理技術者を常駐すべきことを義務づけられ、この施工管理技術者は、現場に適した試験を行なった溶接工を選定すべきことを定めた。

⑨ 良好な溶接作業を行なうために必要と思える条件を詳細に規定した。いささか教科書的なきらいが目立ったが、もっぱら利用者の便を考えることとした。

⑩ ボルト継手は、現状においてRCぐいに用いられるとみてよいが、実情に合った、最少限の事項を規定した。これは、現状のものが必ずしも、最も好ましい継手形状とは考えられず、当然、今後の改良が予想されたからである。

⑪ くい頭の仕上げを木ぐい、RCぐい、PCぐい、鋼ぐいについて規定し、重要な作業であることを注意喚起した。

以上の諸点のうち、特に②について補足する。打撃時のくいの応力の算定については、いくつかの研究が知られているが、この指針では宇都による実験式を使用することにした。一連の室内実験と現場実験によって波動方程式による理論解に補正係数を定めたものである。

図-2は鋼ぐいの場合について図表化したもので、使用した式および定数は図表中に書きこんである。

この提案が、100%の結果を与えるとは思わないが、くい断面に対するハンマー選定

のめやすになればという配慮からにはほかならない。

都市公害の面から、くいの打ちこみ作業が制限される傾向にあるが、くい基礎としての信頼度は明らかに打ちこみぐいがすぐれていることは明らかであり、その意味で、この指針の目指す点についての反響は大きいと予想している。

4. ケーソン基礎の設計指針に対する考え方

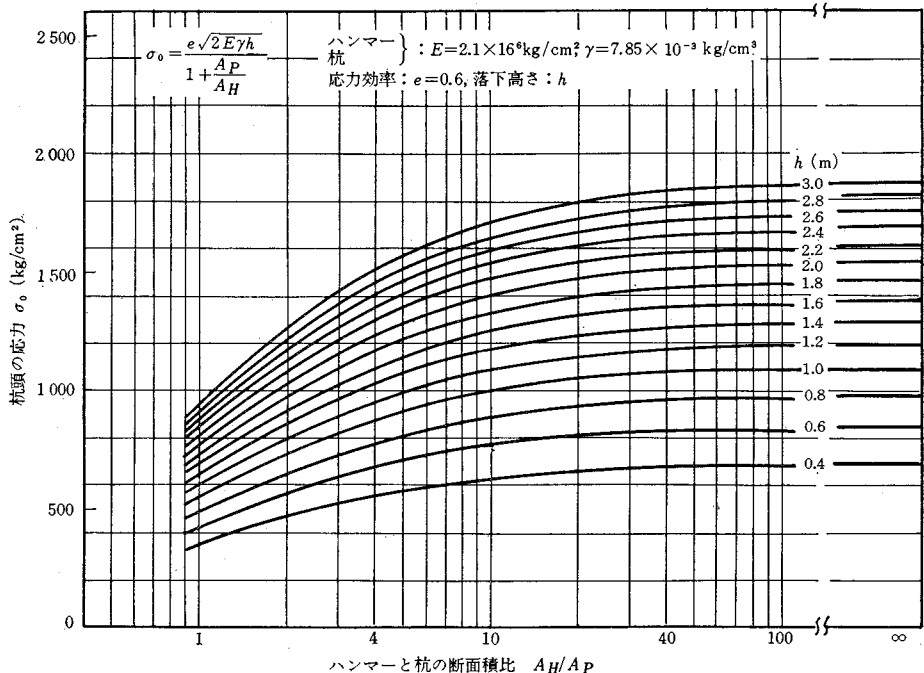
ケーソン基礎と一般に呼称されるものには、いわゆるウェルと呼ばれるオープンケーソンと圧さく空気を利用して高圧下で人力掘さくする空気ケーソン（ニューマチックケーソン）とがあるが、その設計には、同一の設計体系が採用されており、特に地震時の安定計算において、物部¹⁾、酒井²⁾、池原³⁾、後藤⁴⁾、白石⁵⁾らの計算式が有名である。

これらの式のうち、酒井式のみはケーソンを弾性体として取り扱っており、その他は剛体として取り扱っている。

また、これらの式では、次に述べる外力に抵抗する諸要素を考慮しているものと、していないものがあり、おのおの、その考慮する要素の数が異なっている。

- ① 側面地盤の抵抗土圧
- ② 側面地盤の水平方向の摩擦抵抗
- ③ 側面地盤の鉛直方向の摩擦抵抗
- ④ 底面地盤反力の偏心

図-2 杭頭の打撃応力(鋼ぐい)



⑤ 底面地盤の水平方向のせん断抵抗

しかし、ケーソン基礎が本来その側面地盤の横抵抗で水平力のほとんどを分担するものであるとすれば、側面地盤の性質の仮定が、安定計算式の性格を大きく左右する。

この意味から、すでに述べた5氏の式を眺めてみる。物部および酒井は、いわゆるエンゲルの仮定といわれるものに従って、反力の分布を放物線と仮定している。

池原、後藤の式にあっては、地表面から深さに比例して増大する地盤係数をもつ弾性体を仮定している。白石はこれを深さの r 乗($0 < r \leq 1$)に比例する地盤係数をもつ弾性体として取り扱っている。

以上のような、仮定にもとづいての安定計算が行なわれてきて、一般の設計作業では、主として池原式が用いられてきた。

これらの一連の式を通じて共通な点は、地盤の構成条件を比較的一様と見なせる模式的な地盤と考えている点にある。従って、一様な砂地盤に施工された場合と、その砂層地盤の表層に近く砂礫層が堆積している場合とでは、当然その横抵抗に差がでることを期待してよいはずであるが、現行の計算式では、これを取り入れる手段がない。

従って、近く制定発行を予定している道路橋下部構造設計指針のうち、ケーソンの設計編では、次の点で在来と異なった態度を採用しようとしている。

① 現行のくい基礎の設計では、変位を求め、それが設計上の一つのめやすを与えているが、ケーソン基礎の設計においても同じ考え方に立ち、変位の計算を設計体系に取り入れた。そのためには、地盤のばね評価において地盤各層の性質に忠実に、ばねとして評価し、それに応じた反力分布が生ずると仮定した。

② 地盤のばね評価については、各種の地盤調査法、土質試験を利用して、地盤の固有とみなせる変形係数を定め、その変形係数からばねに換算する方式を一義的に定義した。この点については、その信頼度について疑問の向きもあるが、絶対値として取り扱わず、相対値として使用するかぎりにおいて、設計結果を大きく左右しないと判断した。

③ 地震時の安定計算は基礎を設計する場合、最も影響が大きい、設計震度の分布については、この指針の対象から除外し、合力と作用点によって地震力を評価した。このことは、現行の設計法において、くい基礎と、ケーソン基礎とでは、全く設計震度の付与条件が異なっており、近い将来、当然統一的な見解が出されることを期待して、ケーソン全体に一様な等分布として、設計震度が働くという取り扱いをやめている。

この震度分布の問題について少し補足してみる。現行

の道路橋下部構造設計指針では、ケーソンの場合、ケーソンの全長にわたって一様震度を考慮しており、くい基礎の場合にはフーチング基礎までに考慮し、くい本体には全く作用させてない。しかし、場所打ちぐいが大径化されてきて、2mにもおよぶものが施工されるようになると、小径のケーソンより、はるかに大きな質量が地中に存在することになり、剛性の面から見ても、くいとケーソンの差が見出しにくくなっている。

すでに、日本国有鉄道、首都高速道路公団などにおいて統一化の動きがあり、一部実施されているが、道路橋の場合には現在同じ道路協会橋梁委員会の中にある耐震設計分科会で審議中である。

以上のような諸点が特徴になっているが、側壁、頂版、ウェルの底版などの設計計算法についても、明示する予定である。

5. 今後の活動目標

このような作業の背景にたつて、今後、下部構造分科会が作業を進め、活動内容として期待しているものに次のような問題がある。

① 場所打ちぐいの設計・施工指針の作成：公害規制の点から、建設地点によっては打ちこみぐいの施工が不可能になるところも出てきて、場所打ちぐいの施工例が目立ってきた。また、軟弱層が厚く堆積する箇所では、長尺のぐいが施工されるようになってきて、場所打ちぐいのある種類のものでは、打ちこみぐいより安価である面も出てきて、ますます施工例が増大する傾向にある。しかし、その設計・施工については、野放しの状態であり、できあがったぐいの信頼度について、技術者の間でも意見が相違している現状である。

日本国有鉄道では、年間の委員会活動の結果、指針に近い形で、鉄道施設協会から報告書を出され統一化をはかられた。

道路橋といっても、鉄道橋と根本的な差はないが、荷重体系において、死荷重の占める割合が大きい点を十分考慮したうえで、指針として取りまとめたいと考えている。

② ぐいの設計編の改定：くい基礎の設計編は、昭和39年3月に発行され、支持ぐいを中心とし、しかも、くい頭変位量の概念を導入した点で特色のあるものであるが、その後、くい基礎に関する研究は目ざましく、設計 K 値の推定法、摩擦ぐいの取扱い、群ぐいの考慮などについて、相当程度、加筆、訂正する必要が認められるに至った。

この意味から、近いうちにこの改定作業に入りたいと

考えている。

⑨ 試験編の判定：最初に試験編の制定については、いささか時間待ちの事情にあることを申し上げたが、できるだけ早い機会に作業を再開したいと考えている。

これらの作業を終了して、初めて道路橋下部構造設計指針が完備されたものとなり、合本のうえ、一冊として基準の体裁を整えることになる。

6. あとがき

与えられた紙数の中で、道路協会橋梁委員会下部構造分科会の活動状況を十分お伝えできたかどうか疑問であり、不十分な点は筆者の力の足りない点とご寛容戴きたい。最近の話題という表題と、活動報告とが、同じ意味と理解して述べさせて戴いたが、その点で、筆者の独善があるかも知れない。いずれにせよ、建築基礎構造設計

基準をスタートした基礎の設計基準作成作業が、道路橋の世界では、まだ中途にあり、しかも、最初に発行したものについては、改定の必要にせまられているという、基礎の設計の面での進歩の歴史の一端をご理解いただければ幸いと考える。

参考文献

- 1) 物部長穂：土木耐震学，理工図書，昭和27年6月
- 2) 酒井信男：橋脚用特殊型井筒基礎工の水平力に対する安定について，土木学会誌，Vol. 25, No. 6, 昭和14年6月
- 3) 池原武一郎・横山 章：水平力を受けた井筒の安定計算について，土木学会誌，Vol. 38, No. 12, 昭和28年12月
- 4) 後藤尚男：橋脚井筒の側面水平摩擦力と底面上向き反力とを考慮した場合の耐震静的計算法，土木学会誌，Vol. 41, No. 2, 昭和31年2月
- 5) 白石俊多：井筒およびニューマチックケーソン，土と基礎の設計法，土質工学会，昭和36年4月

(1969.9.24・受付)

くい基礎の設計 p.200・¥700
大同コンクリート工業㈱ 中田重夫 著

橋台・橋脚の設計(1) p.220・¥750
大和設計㈱ 藤森 哲 共著
日本道路公団 栗原利栄

橋台・橋脚の設計(2) p.180・¥750
国鉄新幹線工事局 森重龍馬 著

プレートガーダーの設計 p.144・¥700
土木研究所 多田安夫 共著
建設省北陸地建 征 沼 充 弘

擁壁の設計 p.284・¥1,000
日本道路公団 栗原利栄ほか著

合成桁の設計(1) p.220・¥750
オリエンタルコンサルタンツ 木村公道・山田次夫 共著
ビーエスコンクリート 肥島治郎・橋本徹夫

合成桁の設計(2) p.350・¥1,600
建設省大臣官務技術参事官室 細川 弥 重 共著
国鉄構造物設計事務所・工博 田 島 二 郎

PC橋の設計 p.318・¥1,200
オリエンタルコンサルタンツ 木村公道・清野茂次 共著
ビーエスコンクリート 佐伯俊一・田中 登 共編

ラーメン(地下)の設計 p.180・¥800
帝都高速度交通営団 清水 力 ほか著

ラーメン(地上)の設計 p.216・¥1,000
建設省道路局 松崎彬 廣 共著
手塚民之祐

スラブ橋の設計 p.156・¥750
建設省道路局 松崎彬 廣 ほか著

道路舗装の設計 p.156・¥700
建設省道路局 高橋國一郎 著

水門・樋門・閘門の設計 p.200・¥1,100
名古屋大学教授・工博 西畑勇夫 著

土木構造物設計データ(1) p.392・¥1,800
法政大学教授 土本義雄 著

土木構造物設計データ(2) p.272・¥1,500
オリエンタルコンサルタンツ 清野茂次 共著
松 尾 橋 梁 ㈱ 佐藤正昭

型枠支保工の設計 p.180・¥900
労働省産業安全研究所 森 宜 制 著

軟弱地盤改良設計(1) p.150・¥800
東京大学助教授・工博 渡 辺 隆 著

軟弱地盤改良設計(2) p.214・¥880
中央開発㈱社長・工博 瀬古新助 著

トラス橋の設計 p.360・¥1,600
横河橋梁㈱取締役・工博 田中五郎ほか著

T桁橋の設計 p.210・¥1,000
オリエンタルコンサルタンツ 清野茂次 共著
国鉄構造物設計事務所 中島五雄

井筒・ケーソンの設計 p.244・¥1,100
白石基礎工事㈱常務取締役 志 関 秀 雄 著

図書目録進呈 / 広報課宛ハガキで
ご請求ください。

土木構造物 設計シリーズ

□ 各 A 5 判 □

本社=101 東京都千代田区神田錦町3
振替東京20018=電話(291)0912(代表)

オーム社

