

## 最近の地震工学

岡 本 舜 三\*

最近の地震工学について何か話をせよとの依頼であるが、私はこれを純技術的な面と、その人類福祉への貢献という面と両面から述べてみたいと思う。

第一に技術的な面であるが現代を地震工学発達の上で位置づけして見るならばそれは動的耐震設計の黎明期であるというと思うのである。

地震が動的現象であることは自明のことであるが、これまでの耐震設計はそれをまったく静力学のみによって扱ってきた。その理由は構造物が低層であるとか、あるいは短径間であるとかのために、静力学のみによって行なう耐震設計が比較的事実に合致する結果を与え得たということもあるが、他の大きな原因は動的耐震設計を行なうにただけの地震動や構造物の動的性質についてのわれわれの知識が不十分であったことにあると思う。

しかし一方建設技術の進歩は非常に高い。または非常に長い構造物や、非常に巨大な工構造物の築造を可能にするに至った。このような構造は多くの場合 flexible であり、このことはその地震時安定を動力学によって検討することを要請し、またその設計も動力学の配慮のもとになされなければならないのである。

しかしながら動的設計を行なうためには少なくともつぎの事項が明らかになっておらなければならない。

すなわち

1. 地震の強さの地盤による違い
2. 地震動のスペクトル
3. 地震動スペクトルにおよぼす地表面層の影響
4. 弾性域における構造物の振動
5. 塑性域に入った構造物の振動
6. 動的外力に対する材料とくに土の強さ

などである。

この各項について説明することは時間が許さないで、このうち若干の項についてややくわしく述べると、まず第2項の地震動のスペクトルについてであるが、こ



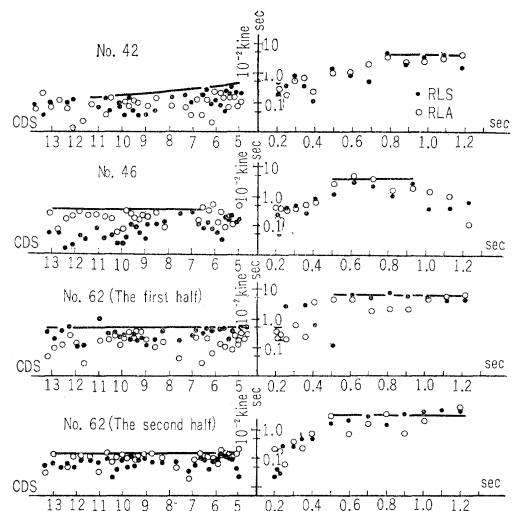
れは地震動が一般にどのような波形をもつかという問題であってこれがわからなければ地震力を動的外力として設計に取り入れようとしてもその根本がわからないことになってしまう。

それでこれに対する基本的データを得るための努力、すなわち、強震計による地震測定が、まず米国においてははじめられついで日本、そのほか諸外国において実施された。これはいつくるかわからない地震の記録をとる仕事であるから根気がいり、かつ急には成果の得られない仕事ではあるが、しかしこれこそは動的設計の基本的仕事である。

そのためには一般に SMAC 強震計が用いられているが、現在日本国内各地には 100 台を越える SMAC が設置され観測が行なわれ、そのデータは強震測定委員会によって随時公表されているのである。

このような地震記録をとってみると一見それは千差万別である。しかし、もしすべての記録になにか共通の性質が見出されるならば、それは設計者にとっては非常に幸いなことである。なぜなら、その場合には地震動をあ

図一



\* 正員 工博 東京大学教授 生産技術研究所長

る抽象的な量として表わすことが可能となるからである。幸いなことに、地震動の速度を周波数別に成分にわけて見ると、もちろん例外はあるが、大抵の場合その成分が一定となることが推定されるのである。たとえば図-1は和歌山県においてとられた数多くの地震について速度を周波数分析した結果を示した例であるが、大体において各周波数に対する成分が一定なることを認めることができるのである。

こうした結果にはもちろん例外がある。だからさらになお研究を続ける必要はあるが、速度スペクトル一定ということは、今日動的設計においてしばしば仮定されるところになっている。

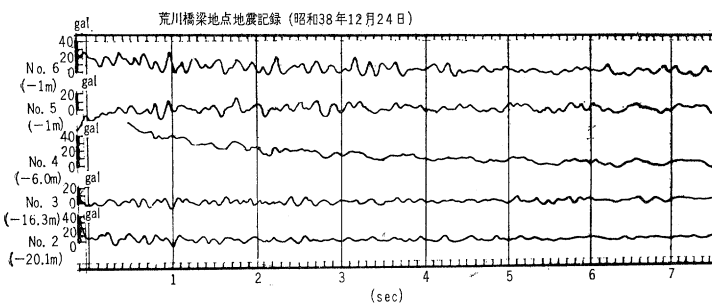
地震動のこの性質はしかし沖積地などでは異なってくることが知られている。これは沖積地の下にある基盤層上では地震動は大体前に述べたような性質をもっているのであるが、表面層があるとそれが波形に影響をおよぼしてスペクトルが変わり、ある周波数の成分が他のものにくらべていちじるしく大きくなると考えられることであり、このような事実は実測によっても認められているのである。

このようなことは表面層の一種の多重反射現象と解されているが、つぎの図-2はそれを示す一例と考えられよう。

図-2は荒川で観測したもので Boring 穴の中 (No. 2, 3, 4) と地表面 (No. 5) での加速度の比較であるが、地下ではいろいろな周波数の振動が重なり合っているが、地表面では約 0.7 秒の周期の波が目立っているのが認められるのである。

表面層の存在が具体的にどういふ影響をもつか。これを調べる方法の研究が今日さかに行なわれ、そのあるものは工学に 응용されている。たとえば重要都市地域に対してはその表面層の種別によって各地域につくられる建築物に異なった設計震度を指定するために Local Seismic Zoning map なるものが作られて実用されているし、また名神、東名などの重要道路の建設にあたっては路線にそって地表層の動的性質に関する調査があらかじめ行なわれて、そこにつくられる構造物に対する震度の

図-2



指定が行なわれているのである。

つぎに第4項の構造物の振動について考えてみると、実測によると巨大なる構造物においては、その各部は一般に地盤とは同じ動きをしていないのである。

図-3

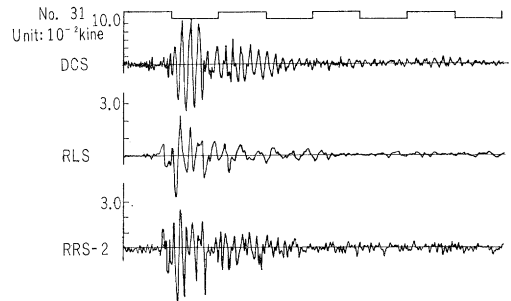
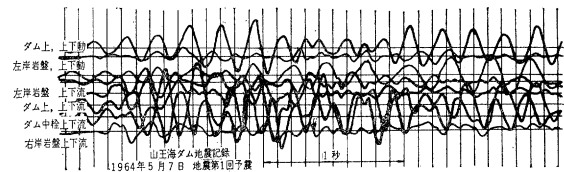


図-3は高さ 60 m のアーチ ダムの天端と地盤の地震動の速度を記録したものであるが、天端の方がはるかに大きく動いている。そして、しかも天端の方にはある周波数の波動が特に顕著にあらわれているのが見られる。

図-4



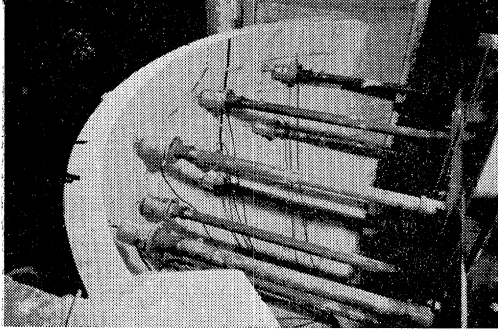
また図-4は高さ 30 m のアース ダムについて同じく天端と地盤の加速度を示したものであるが、この場合にも天端は地盤より数倍大きく動き、しかもある数種の周波数の波動が卓越しているのである。

このように構造物が振動的外力をうけた場合、どんな運動をするかを計算する学問はいわゆる応用力学であって構造物の弾性変形の範囲については理論的にはすでにかなり昔に解決されている。

しかし具体的計算をするととなると構造物の構造が複雑なこと、地震波形が複雑なことなどのためにそれは容易でなく、多大の労力と時間がかかるために従来は精密な解決は事実上不可能であった。しかし最近では高速度計算機の出現や、実験応力解析学の進歩によりそれが可能となったのである。

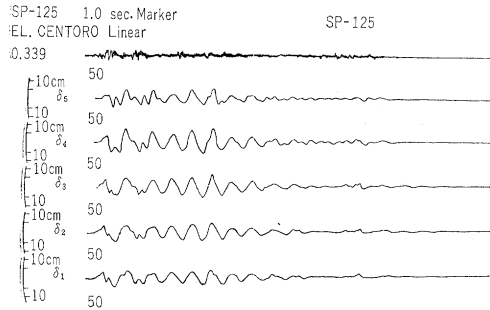
図-5は模型を利用したアーチダムの動的性質の研究装置であり、こういう方法でアーチダムのような複雑な形のものについてもその動的挙動をかなり正確に知ることができるのである。

図-5



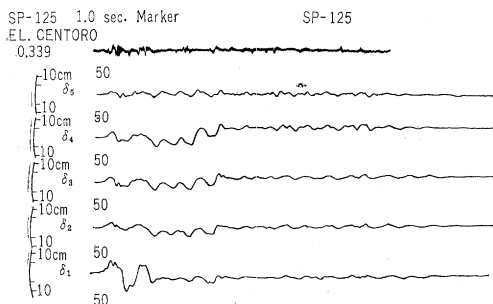
また図-6は24階建ての高層ビルの地震時の変位をアナログ計算機によって計算したもので(東大 武藤研究室による),これはもし1940年アメリカ EL Centroで記録されたと同じ地震動がきたとしたら,この高層ビルはどんな具合に動き,どんな応力を生ずるであろうかを示したものである。電子計算機によるのでなければこのような計算は人力では不可能であり,電子計算機の威力を示した実例ともいえよう。

図-6



電子計算機のさらに有力なことは構造物が塑性領域に入った場合の計算も同様に行なうことができることである。これは電子計算機なしではまったく不可能なわざであって,これができるとことは動的耐震設計を非常に実際的なものにするのである。なぜなら多くの構造物では,ごくまれにしかないような大地震の場合には崩壊さえしなければ弾性限を越えて多少のひびがはいるくらいのは許す方が構造物を経済的に作ることになるか

図-7



らである。図-7はさきと同じ高層ビルの塑性振動を示したものである(東大 武藤研究室による)。

理論が設計の中に生かされるルートとして最も普通のものは示方書を通ずることである。地震に関する示方書で最も整っているのは建築関係の示方書であるが,土木構造物のうちでは橋梁に関するものが比較的良好に整っているように思われる。いまその発達というか,変化というか,橋梁に関する地震関係の規定の変化を見てみるとつぎのように変わった考え方がつぎつぎと出てきているのである。

今から10年くらい前までの実例をみると橋梁に作用する地震力は全国一律に0.2程度をとるのが普通になっていた。ところがやがてできた国鉄の土木構造物に対する示方書案では震度を地盤別と構造物の flexibility とに依じて変わった値をとって良いことを定めている。

表-1

計算の種類	自由に振動する構造物の強さ計算						自由に振動する構造物の安定計算および土圧の影響を考慮する場合の強さおよび安定計算		
	マッシブな構造物			スレンダーな構造物			A	B	C
地域区分	A	B	C	A	B	C			
地盤の種別									
第1種 地盤	0.35	0.25	0.20	0.20	0.15	0.10	0.20	0.15	0.10
第2種 "	0.25	0.15	0.10	0.30	0.20	0.15	0.25	0.20	0.15
第3種 "	0.15	0.10	0.10	0.30	0.20	0.15	0.30	0.20	0.15
第4種 "	0.15	0.10	0.10	0.30	0.20	0.15	0.35	0.25	0.20

表-1はこの関係を示しているが,これによると震度の決定については,明らかに構造物と地盤のそれぞれの振動特性の関連において震度が考えられているのである。それが最近つくられた首都高速の構造ではさらに新しい理念がとり入れられていて,ここでは地盤の振動特性と構造物の振動特性の関係を数量的に対比することが行なわれている。その際地盤の振動特性を求めるには当該地点の常時微動の実際の観測結果が数量的に利用されているのが一つの特徴であり,また進歩と考えられるのである。

このような最近の地震工学の進歩をとり入れて作られた構造物は数年前のそれとはいじりしく異なったものとなり,かつては不可能であったことが可能とされてきたのである。たとえば連続橋を考えてみると,かつては桁に働く地震力はことごとくただ1個の固定承を通じてただ1本のピヤーに伝わるような構造が採用されていた。そのために他のピヤーは地震力に対しては遊んでおり,全体としてバランスのとれない不経済な構造となったのである。しかるに最近つくられた東京都内の連続高架ではどうだろうか。

ここに写真で若干の例をみてみたいと思うがいろいろの工夫をこらして,構造を経済的にかつ耐震化することに苦勞しているのが見られるのである。

図-8 は固定承をもつ下部構造をラーメン構造として、ここに巨大な桁の地震力をもたせている。図-9 は Simple beam を架けならべた高架であるが地震時におのおの桁が落下しないように、リベットでつなぎ合わせてあるのが見られる。桁の地震被害は落下しさえしなければきわめて軽微なものにすぎないことは過去の経験からよく知られているのである。図-10 は連続ラーメン構造としてすべての脚で地震力をうけているのである。図-11 は固定支承を用いずにヒンジ支承ばかりで連続桁をうけている構造であり、この場合は地震力はすべてのピラーに均等に、曲げによってうけられる。図-12

図-8

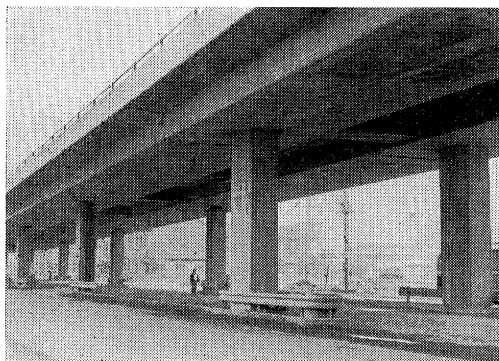


図-9

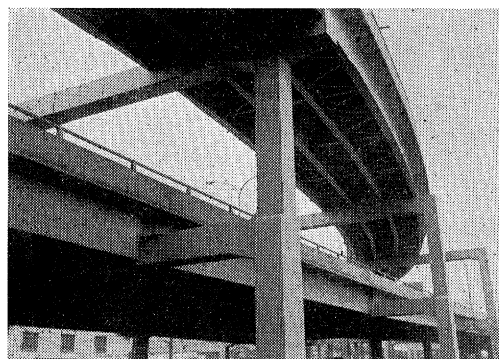
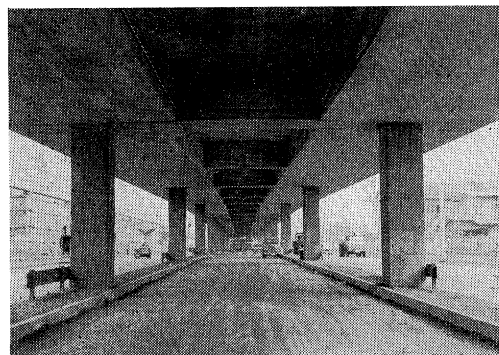


図-10



にフレシパットを緩衝材として用いたものである。ゴムの性質により温度応力によるゆるやかな変形を収集し急激な力は橋脚に伝えられるように工夫されたものである。図-13 は oil damper を用いて同様な作用をさせるもの、図-14 は SU-damper とよばれプレストレスされた鋼棒を応用して同じような働らきをさせる特殊工法によるものである。図-15 は一端をヒンジ、一端を橋脚と桁を剛結した例で、剛結による曲げを利用して耐震設計を経済的にしようとしたものである。図-16 の丈の高い単脚の橋脚は見かけはいかにも弱く見えるが地盤と橋脚、橋桁などの動的性質を考慮して設計されているのでかなり大きな地震にも耐えるようになっているの

図-11



図-12

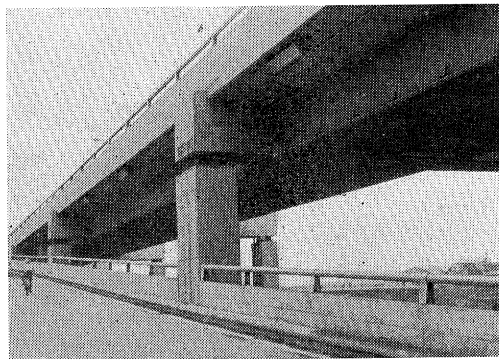
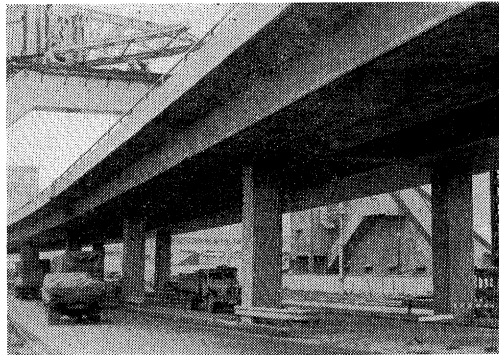


図-13



である。

さてこれまでは地震工学の技術的な面についてのみ述べてきたが、第二の問題としてその人類福祉への貢献という面から眺めて見たいと思う。

私は 10 年くらいまでは地震工学をもふくめた形での地震学が象牙の塔の中で行なわれてきたと思う。しかしその頃から以後はそれが人類を恐るべき震害から救うための学問であるという自覚の上に立って行なわれるようになり、その自覚の当然の帰結として、学者の社会的活動は非常に active になると同時に国際的になったと思うのである。その最初の皮切りとなったのは 1956 年 Berkeley で開かれた第 1 回の地震工学会議であった。この会議は非常な成功をおさめついで 4 年おきに国際会

図-14

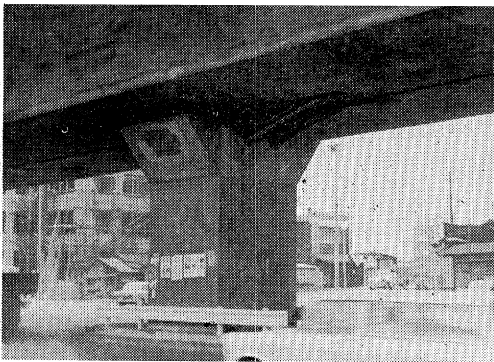


図-15

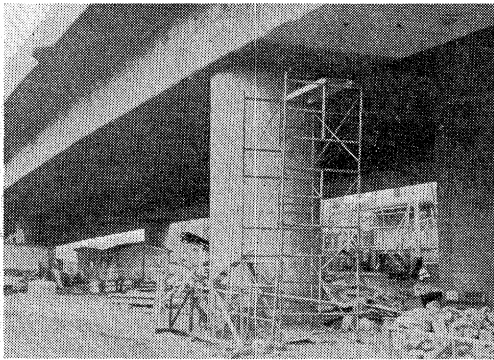
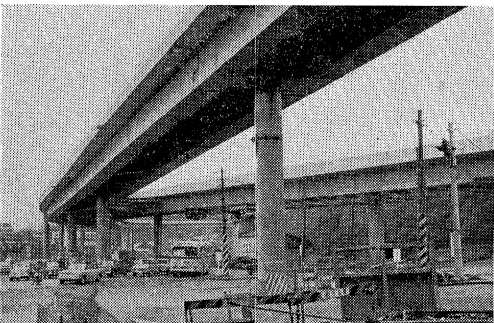


図-16



議が開かれることになり、1960 年には東京、京都でそして明年は Newzealand で行なわれる。これらの会議を通じて学問の進歩はかられるが、それ以上の効果が各国学者技術者間の理解親善を深める点にあると思う。各国の指導的、技術者が一堂に会して共同の目的で討議しあうとき、そこには自から非常災害時には互いに助け合おうというムードが生まれるのである。

かくて 1963 年 2 月には International Association for Earthquake Engineering が誕生し現在 40 カ国が参加して、地震工学発達のための国際協力を行なっているのである。

こういった学問上の協力活動と平行して国連およびユネスコなどによって防災的立場に立っての活動が数年前から開始された。

すなわち、ユネスコは昭和 36 年から 37 年にかけて世界の震災地域たる東アジア、南米および、地中海、および中近東地域に対してそれぞれ地震調査団を派遣し、ゼミナーを開いてこれらの地域における震害を防ぐにはいかなる施策を必要とするかを調査せしめたのである。その結果にもとづいて、本年 4 月には地震学および地震工学に関する政府間会議が 38 カ国の代表を進めてパリで開催され、これには日本からも久保慶三郎東大教授ら 6 人の代表が参加し、つぎのような 10 項目について討議し、それぞれ必要な施策を政府に対して勧告しているのである。

1. Seismological Observation
2. Collection Analysis and Diffusion of Seismological Data
3. Measurement of Ground Motion and Structural Vibrations caused by Strong Earthquakes
4. Seismic Maps
5. Seismo-tectonic and Seismic Zoning Maps
6. Code and Regulations for Earthquake Resistant Design and Construction
7. Housing in Seismic Zones
8. Tsunami Warning and Protection
9. Field Studies of Earthquakes
10. Education and Training

ここには先にのべた強度の測定であるとか、地盤図の作製であるとか、耐震法規の制定であるとか、現地材料を使つての耐震構造の研究であるとか、最近の地震工学上の学理の実用化に関する幾多の有用なる勧告が行なわれているのである。

また世界の地震災害を防ぐためには地震についての先進国が進んで後進国を指導し、援助することが人類愛の立場からみても当然のことである。こういう問題についても国連やユネスコは最近きわめて意欲的になってきているのが注目されるのである。すなわち、リビアやイランやユーゴスラビヤなどの震災にあたっては国連が調

査団を派遣し、その復興に対して必要な助言を与えている。また一方地震学および地震工学に関する技術者の養成にも力を注いでおり南米、中近東、東南アジアなどの地震地帯の若い技術者を一堂に進めて約1カ年間訓練をするために International training Center of Seismology and Earthquake Engineering なるものを設けて毎年数十人の地震に対する防人を養成している。これは現在東京におかれているが、regional なものは今後各地に設けられるすう勢である。いうまでもなくわが国の学者、技術者は現在これらの国際的運動の推進力の重要な一翼となっているが、こういう活動を通じてわが同邦が世

界の人々の福祉に貢献しているということはまことにご同慶に耐えない所である。日本が地震帯の上にあるということは、まことに不幸なことである。しかしわれわれは科学技術の力によってそれを克服し、その取得した技術によって、広く世界の人々の福祉に貢献しようということは、考えてみればまた幸福なことでもあるのであって、このことは日本人に課せられた神聖なる義務ともいえるのではないかと思うのである。そしてわれわれは進んでこの義務を果たすべく努力すべきではないかと思うのである。

(1964.5.30・東北大学にて講演)

## 書 評

### 建設業成功の秘訣

ローレンス・ミラー著 鹿島研究所出版会刊

経営技術に関する研究は、この数年以前から非常にさかんになり、たくさん書籍が出版されているが、そのほとんどが建設業以外の工業や商業の分野についてのものであり、建設業という多くの異なった面を持った企業の経営について論じたものはない。

欧米先進国の技術を吸収し、新しい国土の開発の原動力となって目ざましい進展を見せている建設業者も、経営という面では封建的な色彩が年々薄くなりつつあるとはいえ、近代化するべき点がまだまだ多く残っている。

建設業者にとって、業界のはげしい生存競争に生き抜き、かつ飛躍してゆくためには、企業の近代化、合理化は絶対の条件といえよう。

この本は現場技術者、コンサルタントとして36年にわたる経験をもとにして、新しい考え方を織りこみながら、建設業経営の広い分野にわたって論じられている。

内容は10章にわかれ、

1 経営者の条件：では経営者は見積り、計画、購入、組織、運用の面で常に前向きでなければならないとし、成功の要点を述べている。

2 組織：では大規模から小規模にいたる会社の組織のあり方について、機能組織図と具体的事例をあげて論じている。

3 経営方針と執務手順：では組織が決定したのち、意志決定の基準となる経営方針をいかにして確定するか、さらにその経営方針にそって諸機能を逐行する方法や技術、すなわち執務手順がいかにあるべきかについて述べている。

4 原価管理規定：では内容、必要性、成文化の方法

を典型的な例をもって概説してある。

5 見積と入札：では新しいアイデアをおりこんだ各種の書式をあげて、見積から入札にいたる一連の業務の概要を述べている。

6 比率報酬契約方式：ではわが国では実施されていない特殊契約方式を照会している。

7 工程計画と出来高報告書：では見積→入手→施工計画→工程計画→施工→出来高報告という一連の動作のうち、工程計画と出来高報告書について多くの具体例を示して説明し、工事管理方式の一つとしてクリティカル・パス・メソッドを照会している。

8 建設機械：では機械の所有経費、運転費、償却費などの算出方法、機械に関する記録と報告のやり方について具体例をあげて説明している。

9 帳票：では下請契約書から送り状にいたる約20の諸書式を示し、それぞれの目的、使用法を述べている。

10 特記すべき事項：ではジョイント・ベンチャーなどわが国に普及したものもあるが、主として米国特有の問題が論じられており、参考となろう。

以上が各章の内容である。社会基盤の違うわが国にそのまま適用できないものもあるが、建設業経営技術の指導書として、経営者にはもちろん、建設会社に勤務する職員にも広く役立つものと考えられる。

体 裁：A判 278 ページ 定価 680 円 1964.1.15.刊  
発行所：東京都港区芝田村町5～9 浜ゴムビル5階  
電話 (581) 8911 振替東京 180883 番

【国土開発 後藤 績・記】