

施工計画・管理 (その1)

—概 説—

白滝 山二*・浅井喜代治*



I. まえがき

土木技術は自然の中で人間が生活し、社会活動を営むために自然を改造する技術であり、人間の幸福、社会の福祉増進のための土木施設を造ることがその目的である。土木技術はこれを大別すると、計画・設計・施工に区別することができ、それぞれが長い間の歴史的な積上げによって現在にいたっている。過去において社会は土木技術革新の必要性を生み、この要望に答えるために科学が発展してきたといっても過言ではない。とくに施工面に機械が導入されて以来、施工内容は一変し従来の人力依存の建設工事は過去のものとなり、これに伴う施工技術も急速に発展して土木工事が大規模化、複雑化、多量生産化されるにつれ、施工面の合理化・科学管理の必要性が強く認識されるようになった。しかも土木工事は単に施工面の合理化、科学的な管理だけで実現できるものでなく、計画・設計・施工がそれぞれ調和のとれたものでなければならない。

本講座では今まであまり顧みられなかった施工計画・管理についての最近の考え方とその方法を、コンクリート工事を主体に述べることにする。その内容はおおむね次のとおりで、現場技術者を対象にわかりやすい内容としたい。

1. PERT
2. PERT/MANPOWER
3. CPM
4. コンクリートダムの施工計画・管理
5. 品質管理のための基礎
6. 管理図
7. コンクリートの品質検査

II. 施工計画・管理の必要性

建設の機械化の発達と、施工技術の急速な発展により工事の大規模化・労働力の省力化が可能となった反面、施工管理が難しくなっている。設計・施工技術の発達し

た今日、施工計画および管理の近代化が伴わなければ、せりかくの設計技術を十分有効に生かすことは難しい。

土木工事の多くは発注者側が設計したものを入札で受注した者が施工するのが通例であり、このように設計・施工が分離されていることは、施工管理を実施する際に相互の理解が必要となる。とくに、受注者側も施工技術の進歩という質的な要請と工事量の増大という量的な要請から専門化、分業化がはなはだしく、下請の傾向が強まってきて、発注者の意図した工事完成物と受注者の分業化、下請化された施工末端での認識の間には大きな開きができてきた。このような現象は生産性を向上し、合理化するためにとられた分業システムではやむを得ない面があり、むしろ、その欠点を補完することが肝要である。そのためには発注者の意図を合理的に表現して施工者の末端にまで浸透させると同時に、施工中に発生した問題を合理的に処理し、残された工期内での対応を考える方策が必要である。

土木工事の実施は、まず工事の要請がなされ、次いで工事の計画、設計、施工、完成品の供用という順序でなされる。さらに、この中の施工は各作業が最後まで確実に実施され、定められた時間内に遂行されることが必要であり、経費も経済的に使用され、完成した工事に品質のムラのない事が望まれる。このためには工事着手前に入念な工事施工・管理計画を立案し、これに基づいて工事を実施することがきわめて重要である。

一方、現場の技術者が時間をとられている仕事と、重要と考えている仕事について、アンケート調査をした結果は図-1のとおりであるという報告がある¹⁾。図-1からもわかるように、現場では工事の段取りや仮設の計画、工程表の作成、検討および工事打合せが重要と考えられ、またそれに時間をとられている。

以上のように考えると、施工計画は仕様書に示された品質と数量の構造物を、所定の期日までに完成させるために資材・人員および機械設備を経済的に運用するように計画することである。一方、この計画を現場で実施する施工活動の中では、労務管理、資材管理、作業管理、

* 東京農工大学農学部 (しらたき やまじ, あさい きよじ)

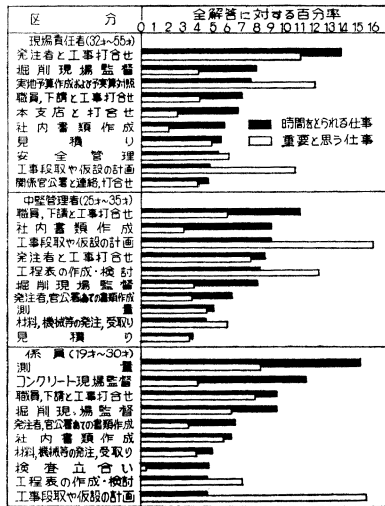


図-1 現場の土木屋が時間をとられる仕事と重要と考える仕事 (横山)

機械管理, 原価管理, 工程管理および品質管理等が必要になり, これらを総括的に統制する機能が施工管理であるといえる。

III. 土木工事の特殊性

土木構造物の建設業者への発注は, 発注者が設計した図面および仕様書等による競争入札がほとんどで, 設計と施工が完全に分離されている。これは他の産業にはあまり例のない土木事業の特徴であるといえる。

さらに, 土木工事には次のような特殊性が考えられる²⁾。

1. 需要が各地区に散在している。
2. 屋外で実施されるため天然地形, 地質, 気候などの自然条件によって左右される。
3. 注文生産であり造られる構造物の規模・構造および作業条件に基づく量的, 質的, 空間的な問題が異なってくる。
4. 材料の輸送あるいは使用機械, 労働条件など人為的な条件によって左右される。
5. きわめて単純な数値計算がその本質に流れているにもかかわらず, 建設工事の経験者の勘によって判断することにより工事の進行を図り, それにより企業が成立つ, という他産業にはみられない条件が存在する。

このように建設工事における工事の構成は, きわめて複雑で工事着手前に入念な工事施工計画を立案し, これに基づいて工事を実施することが必要である。

IV. 土木工事の施工計画・管理に関する計画手法とそのあり方

土木工事施工のための施工計画を, 施設の目的が十分に達成できるように, 工事を所定の工期内に迅速・確実かつ経済的に進行させるための合目的な工事計画の策定と, 工事の実施をその計画と一致するよう管理調整するための方法を総称したものであるとするならば, 施工計画は設計の段階で施工を考え, 各種の設備・資源の条件下で工程, 費用を算出して合目的な施工方法を見出し, それをもとに仮設備, 機械, 人員, 資材および工程などの諸計画を決定することである。

一方, 施工管理は, すでに決定された施設の規模, 人員, 資材および工程計画のもとで計画の目標をいかにして達成するか, 費用効果や安全性をいかにして最大ならしめるかについて最も合目的な施工方法を策定し, その実施を管理することである。

このようにして策定された施工計画によって, 工事中不必要な人員の投入あるいは材料の準備などがなくなり, 工事の施工は容易にしかも確実に行うことができる。また, 計画された施工計画との対比から, 今後の施工の見通しを得ることが可能となる反面, 施工に対する弾力性がなくなり工事担当者の創造性を失わしめる欠点がある。しかし, 施工は自然条件, 地理的条件, 人的条件および設備条件など多くの制約条件のもとで実施されるから, その計画通りにいかない場合が多い。ここに施工の難しさがあり, これまでの施工計画は多くの経験と勘によって策定されることが多く, 新しい計画手法, 管理手法の開発は容易でないと考えられてきた。

従来の工程計画・管理のための主要な手法は 図-2 に示されるようなバー・チャート (bar chart) で代表されるとみてよい。この方法は簡潔さ, 見やすさ, 使いやすさを長所とする反面, 次のようないくつかの欠点がみられる。

1. 作業の順序関係が複雑に入組んだ場合に, その日程計画をきめ細かく行うことが難しい。すなわち, 順序関係ははっきりしないため, 大切な作業が見落される可能性がある。
2. 工程管理上の重点をどの作業におくか (critical path) といった判断が難しい。
3. ごく大まかな工事や現場への作業指示形としては優れているが, 計画段階での案の練直し, 工程の短縮, 作業間の従属関係の検討など, 実施段階に入ってから状況変化に対する弾力性に欠ける。また, 途中の遅れが全体の遅れに及ぼす影響についての正確な情報が得られ

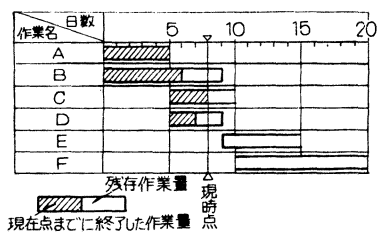


図-2 バー・チャート

ないという致命的な欠陥がある。

4. 各作業の余裕と工期に対する制限が明確にできない。

以上のような欠点のため、とくに作業数の多い工事では目的な施工計画の策定をバー・チャート法によって行うことはきわめて困難である。

最近における施工計画・管理に関する計画手法、たとえば PERT/MANPOWER, CPM/MANPOWER などは種々の制約条件を含んだ複雑なプロジェクトを総合的に計画し、管理する手法として有効で広く用いられるようになってきた。このためには自然科学はもちろん社会科学の諸分野、とくに経済学の力を借りなければならない。このように考えると、施工計画は総合科学の一分野と考えられ、あらゆる方向から施工計画を検討することが必要になる。

V. 工程計画における PERT の役割

施工計画は施工を総合的に統制し目的に対して施工の順序、手段および方法などをあらかじめ決定することであり、入念に立案された施工計画を種々の制約条件のもとで管理しながら工事を遂行することにより、工事の施工目的を達成することができるが、施工の原則について末松³⁾は、

1. 合目的な品質形量を、
 2. 与えられた時間内に、
 3. 経済的に、
 4. 安全に、
 5. 人手を少なく、
 6. 快適な環境で、
- 施工されるべきである、としている。

このように考えると、理想的な施工計画というのは施工管理のルール、信頼における新技術および工法を積極的に考えて、与えられた工期内に設備能力を最大限に活用できて、機械、人員、資材の使用量が少なく、しかもその変動量の少ないような施工、いいかえれば最小限のコストで最大限の効果があげられる方法と手段を選び出し、しかもそれが制約条件の変動に対して弾力性のあるものでなければならない。

このような施工を策定するための手法の一つに PERT (Program evaluation and review technique) がある。この手法はネットワーク (networks) の概念を導入して開

発されたもので、多くの土木関係技術者にとっては常識化されつつある近代計画論的手法の一つである。

PERT には作業時間を一定と考えたいいわゆる一点見積りによる PERT (正確には PERT/TIME というが、以下本講座での PERT は PERT/TIME と同じ意味として取扱う) と作業時間を確率変量と考える確率 PERT が開発されている。また、PERT で決定されたスケジュールに対して、資材や人員の使用、配置計画の最適化を考えていく PERT/MANPOWER の手法や、ネットワークの各作業の進行による費用の発生経過をとらえて、最適な資金の活用を考えながら施工管理ができるように PERT を拡張した PERT/COST がある。このほか計画管理の対象物 (project) に対する総費用を、工期との関連において最小にするようなスケジュールを求めようとするものに、CPM (critical path method) がある。

このようにネットワークを使用してのスケジュール計算を行う利点として、次の諸点があげられる。

1. 仕事の全ボウならびに仕事の相互関係が明らかになり、工期中に起った問題を合理的に検討できる。
2. 作業を少しでも遅らせると、プロジェクトを工期内に遂行することが不可能になる作業がある。これをクリティカルな作業 (critical job) とよび、これらを連ねた経路をクリティカルパスと呼ぶ。これを中心に工程の重点管理を行えば管理面の合理化が行える。
3. 人員、資金などを、いつ、どの作業に投入すれば有効であるかがわかり、効果的な工事計画ができる。
4. 作業担当者の責任、権限などが明確になり、各部門の連絡も容易になる。
5. 受注者、発注者とも契約について安心のできる計画・管理の手法として互いに意見の疎通手段として使われる。
6. 工程と費用の関係が明確になるので、工期の短縮に対する費用の増加、人員資材などの使用、調達関係についても受・発注者の計画がはあくでき、相互の意志の疎通を図ることができる。
7. 人員や資材に対し時期別の制限や、他資源への流用を考えながら一定資源のもとでの工程計算も可能である。
8. CPM を導入すれば工期と費用の関係が求められ、制限資源量を無視すれば一応プロジェクト費用を最小にする工期を求めることが可能になる。

VI. PERT 手法の導入とその問題点

土木工事一般に PERT を導入する際に問題となる点について考察すると、次のようになる。

1. 作業日数の評価

PERTを導入して施工計画の合理化を図ろうとする際に問題となるのは、ネットワークに示した各作業の所要日数にバラツキがあり、その推定が困難なことである。これに対しては確率 PERT の概念があり、Malcolm⁴⁾ は作業の所要日数を楽観値 a 、最可能値 m および悲観値 b の三点を用いて見積る三点見積法を示している。すなわち、個々の作業日数の分布を 図-3 に示すように a 、 b をそれぞれ下限、上限とし、 m をモードとするベータ分布と想定して PERT 計算を行い、最終結合点工期については前述のベータ型変数和が正規分布に近づくことを利用して、工期までに完了する確率を求めている。また、その後、吉川⁵⁾ はネットワークにおける個々の作業に日数の確率分布を与えて、所要日数を求める方法を示している。しかし上記の方法では計算が相当ハン雑になり実用的でない場合が多い。

このように土木工事は天候、現場条件などの影響を受けて、所要日数が一通りに決まらない点に問題がある。しかし一方において、一点見積りによる PERT 計算でも大きな狂いはないという見方もある⁶⁾。これはプロジェクトにおける多くの作業に余裕日数があること、見積りの違いが互いに相殺されること、実際の作業段階で何回かの修正ができること、などの理由によるものである。

2. 資源の割当て

作業に投入可能な人員、資材、機械設備等のいわゆる資源量に制限がある場合、これをどの作業に割当てるか、あるいは遊休資源量をどのように転用すべきかの問題がある。これには人的資源に注目し実行可能な要員配置を行う人員割付け (man-scheduling) と資材、機械、設備等の割付け (resource allocation) が考えられる。いずれも一応 PERT/MANPOWER の考え方を適用できるはずであるが、これに付随していくつかの問題がでてくる。

工事に必要な設備および人員は、工事進行の過程で大きく変動し、ときには利用できる限界を越える場合も少なくない。また、資源の利用可能量そのものが時期的に変動する場合もあり得る。PERT が時間的な面に重点をおいてスケジュール計算を行っているのに対して、PERT/MANPOWER では与えられた資源利用可能量を越えない範囲で、計画した方法と順序にしたがって工事を実施し、プロジェクトの工期を最小にしようとするものである。ここにネットワークの工程にしたがった資源量の山積み、山くずしが必要になる。

しかも土木工事は工種、現場条件等によってそのつど

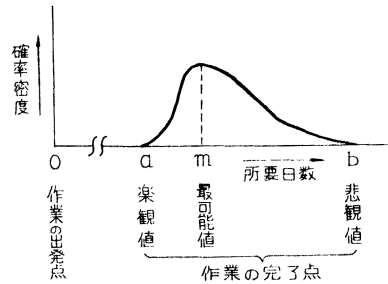


図-3 作業日数の見積り

制約条件がかわり、資源割付けの方法も複雑になるため今後に残された問題も多い。

3. 施工不能日

土木工事にはつきものの工期内における施工不能日の推定の問題がある。施工不能日は天候、定休日および機械保守のためのものなどが考えられる。これは土木工事が装置産業と異なる最も大きな特性で、この問題をどのように処置するかが工事の工程管理の精度を上げることにつながるという過言ではない。とくに雨天日の取扱いについては大部分の土木工事が雨に左右されるため、この取扱いについては慎重でなければならない。雨天の問題は工種やネットワークを組む際の作業の分割方法によってその影響度は異なるが、大体次のような取扱い方が考えられる⁷⁾。

① 土木工事はもともと天候以外の要素によっても作業の日程が左右されるので、おのおのの作業日数に余裕を持たせる方法。

② 全工程を計算したあとに、過去の経験から割出した一定の雨天日を加えて工程を決定する方法。

③ 施工の可否が日雨量あるいは時間雨量でほぼ決めることのできる作業については、過去何年間かの雨量データから施工不能日を暦日に指定し、工程を決定する方法。

上記のうち ③ については、角屋⁸⁾ が排水ポンプの規模決定にモンテ・カルロ法 (Monte Carlo method) を使用し、雨量を模擬発生させているが、このような取扱いにより実働日を推定して工期を決定することも可能である。しかし、土木工事では工種、職種によって雨天でも実働できるものがあり、工程計算を一層複雑なものにしている。

これに対して定休日や機械保守のための休日は、労務者全員が休むことになり雨天によるものと性格を異にする。定休日や機械保守のための休日は、月に何日間か固定する場合と、固定しないで雨天日にこれを実施してい

る場合とがある。いずれにしても作業不能日は工程作業の内容によってその取扱いが異なるため問題も多い。

4. 基礎データの整備

工程計画・管理のための基礎データの測定、収集がどの程度行われているかは工程計画上重要なことである。

工程の最適化に際し、資源の利用制限量のもとで工程の最適化を図ろうとする立場と、プロジェクトにどれほどの資源量を与えれば工程の最適化が可能であるか、という二つの立場があるが、いずれの場合も必要資源量に関する基礎データは必須である。たとえば、プラント容量、施工機械を資源制限量に考えた場合には、施工設備の実働率、設備のサイクルタイム、設備の運転経費、設備がどの作業にどれだけの割合で使用されているか、などがつかめていないといけないし、人夫数に制限がある場合には作業に対する各職種別の歩掛りや一つの作業が分割可能かどうか、それに伴う歩掛りはどのような比率で配分されるか、というデータが必要になる。さらに特定の職種に一時的な不足を生じた時に他の職種に余裕があり、しかもそれが不足している職種に流用できるという場合の可能性など、工程計算およびその最適化を考えるためにはいまままで以上に基礎データが必要になる。

この問題は机の上で解決できるものでなく、日ごろから現場において作業日報などに工夫をこらして、これらの要望に答えられるだけのデータを蓄積しておく必要がある。このように考えると良質の基礎データの有無が工程計画成功のカギをにぎっているといって過言でない。

VII. 土木工事における品質管理

土木工事の施工にあたっては、円滑な工事の進行を図るための工程管理を進めると同時に、構造物の品質が、設計や仕様書で定める品質基準を十分満足できるようにその施工工程を管理してゆくことが必要である。

すでに述べたように、土木工事は一般の工場生産とは違った特殊性が存在し、その品質の変動は管理のあり方によって大きく左右される要素が多い。また、構造物の部分によっては、完成後にその品質の判定が困難であったり、仮に欠陥が認められても現実的にその改造や手直しなどの処置がとりにくい場合があるなど、単に完成後の出来形検査だけでは品質の確保あるいはその保証を期し難いことが多い。

そこで従来の管理のやり方としては、強い権限を有する現場監督員が工事に立会い、材料の検収、工事方法の指示、施工作業の監視などによって品質の確保につとめてきた。しかし、このような発注者主導型の監督体制に

よる工事管理は、近代の双務的な請負契約の趣旨とはなじまないものであり、施工者の創意工夫の意欲をそぎ、あるいは施工結果についての責任の所在をあいまいにするなどの問題点も含んでいる。一方、最近は工事量の増大や監督職員の不足などにより監督業務の合理化を迫られており、これに伴って発注者と請負者との信頼関係に立脚する責任施工体制を推進する必要性はますます強まっている。

したがって、土木工事における品質管理のあり方も、このような新しい施工体制に即応し、合理的、科学的な管理システムに基づいて出来形の品質保証を図っていくことが必要である。このためには、単に品質の良、不良を選別するための検査だけでなく、設計や仕様書で示された品質基準についての十分な理解の上に立っての作業標準の設定、施工過程における品質要因のチェック、最終品質の確認、さらにはそれらの結果に基づく施工工程の改善処置などを含めた総合的な管理作業を実施し、常に所定の基準に合致する品質のものが作られてゆくような安定した施工工程を保ってゆくことに努力が払われるべきものと考えられる。

こうした一連の管理作業を合理的に進めていくためには、近代的な品質管理 (quality control, QC) の手法を活用することが必要である。ここでいう品質管理とは「買手の要求に合った品質の製品を経済的に作り出すための手段の体系」として定義されるもので⁹⁾、その具体的な手順は、作業の進行に伴って得られたデータから現在進行している作業工程の妥当性を評価し、その結果を直ちに作業工程の管理に役立たせ、必要な条件を満たすような品質の製品を経済的に作ってゆく組織的な一連の作業である。この場合、統計的な考え方をを用いることによって適確な情報をとらえ、効率のよい管理を行うことができる。したがって、このような統計的な手法を取入れた品質管理を統計的品質管理 (statistical quality control, SQC) ともいっている。

統計的な考え方は、工事の検査結果の評価にあたって重要な役割を果たす。とくに破壊検査を要するものなどでは抜取り検査に基づいて、構造物全体の品質の判定をする方法がとられ、このような場合には、統計的な考え方はその判断の根拠となるものである。

以上のように土木工事の品質管理にあたっては、その管理の目的をよく理解し、統計的な考え方を基礎とした管理手法を土木工事の特質に合せて活用することにより科学的な管理を実施し、経済的なバランスをも考慮しつつ所要の品質が保証されるような工事の完成を図っていくことが必要である。

VIII. 本講座の目的

本講座の柱の一つである PERT が土木工事に適用されるようになってからすでに相当の年数になり、施工の計画・管理に対して万能でないことが明らかになっている。しかし、PERT の基本的な考え方を導入することによって、新しい施工計画の方法ならびに管理の方法も可能になってきた。たとえば、PERT 計算は一意的に前後関係の決ったネットワークから、それぞれの最早ならびに最遅開始時刻を計算して工程の管理を行うのが通例であるが、最近ではこの順序関係が各時点で変るような場合にも適用されるようになってきたし、さらにまた、施工計画の最適化を論ずる際に PERT の考え方を導入して各作業の順序、人員、資材あるいは機械の配置、工期および施工日数等を同時に考慮して検討する試みがなされるようになってきた¹⁰⁻¹³⁾。今後は電子計算機のプログラムの開発によって、現場条件をすべて考慮した施工計画・管理が、比較的容易に行えるようになるとも考えられるので、これらの将来への動向をも踏まえながら、その基礎となる PERT, PERT/MANPOWER, CPM などの一連の OR 手法に基づく工程管理の概念を解説していく予定である。

また、品質管理については、従来の不良品質の発生防止のみに主眼をおいた監督業務から脱却し、大型化あるいは複雑化しつつある施工システムの中で、最も合理的に合目的な品質のものを完成させていくことに重点をおくと同時に、施工者自身が主体性をもった管理によって、発注者の信頼に答えていくことが必要とされている。農林省構造改善局でもこうした事情を前提として、「土木工事施工管理基準」を制定し¹⁴⁾、工事施工の効率化、施工管理の適正化への指針を示している。この基準には、品質管理についてかなり詳細な内容が含まれており、各現場でもこの基準に基づいた管理が実施に移されていると思われるが、ここではこれらの管理手法をも含めて、

その基礎的な考え方の理解を深めることによって実際の管理業務の適正化に役立つことを目標とし、今日品質管理の対象として最も多く当面するであろうコンクリートの品質管理を例として説明を加えていきたいと考えている。

もとより施工の計画・管理にあたっては、個々の工事についての専門的な施工技術の知識が基本的に重要であるが、ここでは施工計画・管理上新しい概念として導入された数理計画的な分野として、工程計画・管理と品質管理に問題をしばって解説を試みることにした。しかし、これらはすでに現場に導入され、その手法について多くの経験を有する読者も多いと思われる、そのような方々にとっては物足りないものとなるかもしれないが、一般の理解を得ることを目標として、なるべくわかりやすい内容となるように心掛けてゆきたい。

引用文献

- 1) 横山義雄：土木屋と雑用，土木誌，53 (1)，(1968)
- 2) 矢野備太郎：建設工事の生産構造，土木施工システム論，鹿島出版会，(1971)
- 3) 末松 栄：楽しくとも仕事のできる男達，土木誌，53 (1)，(1968)
- 4) D.G. Malcolm, J.H. Roseboom, C.E. Clark, and W. Fazar : Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation, JORSA, 7, (5), (1959)
- 5) 吉川和弘・春名 攻：施工計画システムへの確率 PERT の導入に関する研究，土木論集，179, (1970)
- 6) 刀根 薫：PERT 講座 (I)，東洋経済新報社，(1966)
- 7) 浅井喜代治：コンクリートダム施工計画における降雨条件について，農土論集，50, (1974)
- 8) 角屋 睦・福島 農・丈達俊夫：日雨量系列の模倣発生と内水排除計画への適用，京大防災研究所年報，13B, (1970)
- 9) 日本工業規格：品質管理用語，(JIS Z 8101-1963)
- 10) 浅井喜代治：ダムコンクリート 打設に関する最適な順序付け，農土論集，47, (1973)
- 11) 浅井喜代治：型ワタ人数に制限をもうけた場合の最適打設工程，農土論集，48, (1973)
- 12) 浅井喜代治：型ワタ人数の制限を考慮した修正 PERT 計算の適用例とその考察，農土論集，49, (1974)
- 13) 浅井喜代治：コンクリート打設用プラントの最適容量について，農土論集，52, (1974)
- 14) 農林省構造改善局：土木工事施工管理基準，(1974)

[1975. 6. 16. 受稿]