

土木工学大系

16

施工論

土木工学大系

16

施工論

河野彰 宇梶賢一 上野正高
荻野英樹 兼子功 桑原章次 定兼定一
清水仁 鈴木四郎 諏訪正男 東浦信光

彰国社版

土木工学大系 16 施工論

¥ 3,800

昭和52年12月10日 第1版 発行

編著者との
協定により
検印廃止

編 者 土木工学大系編集委員会
発行者 下 出 源 七
発行所 株式会社 彰 国 社



自然科学協会会員
工学書協会会員

Printed in Japan

160 東京都新宿区坂町25
電 話 3 5 9 - 3 2 3 1 (大代表)
振替口座 東 京 6-173401

© 土木工学大系編集委員会 1977年

印刷・壮光舎印刷

製版・不朽堂製版社

製本・昇栄社

3351-538016-3081

監 修	樋 口 芳 朗	東京大学教授 工学博士
	福 岡 正 巳	東京理科大学教授 工学博士
	八十島 義之助	東京大学教授 工学博士
編 集 委 員 長	高 橋 裕	東京大学教授 工学博士
編集専門委員	赤 木 俊 允	東洋大学教授 工学博士
	伊 藤 学	東京大学教授 工学博士
	伊 藤 滋	東京大学助教授 工学博士
	酒 匂 敏 次	東海大学教授 Ph. D.
	佐 武 正 雄	東北大学教授 工学博士
	菅 原 操	日本国有鉄道副技師長 工学博士
	鈴 木 忠 義	東京工業大学教授 農学博士
編 集 委 員	石 原 研 而	東京大学教授 工学博士
	今 岡 正 美	山梨大学教授 工学博士
	*河 野 彰	大林組土木本部設計部長 工学博士
	玉 井 信 行	東京大学助教授 工学博士
	中 澤 弼 仁	建設省土木研究所長
	中 村 英 夫	東京大学教授 工学博士
	中 村 貢	東京大学教授
	中 村 良 夫	東京工業大学助教授 工学博士
	波 木 守	開発機構社長
	西 澤 紀 昭	中央大学助教授
	西 野 文 雄	東京大学助教授 Ph. D.
	原 芳 男	東京工業大学助教授
	藤 井 敏 夫	東京電力原子力建設部長 工学博士
	宮 脇 昭	横浜国立大学教授 理学博士
	森 下 忠 幸	厚生省環境衛生局水道環境部環境整備課長
	渡 部 与四郎	建設省都市局街路課長 工学博士
	和 田 萬 里	国土庁水資源局水源地域対策課長

(*:は本巻担当編集委員)

刊 行 の 言 葉

土木工学は岐路に立っている。

従来、土木技術者の役割は、国土開発を計画し、設計し、施工することであり、したがって、その核となる土木構造物、土木機能施設の建設に、土木技術者は、その器量の大部分を傾倒してきた。与えられた機能を発揮し、かつ安全な美しい構造物を、与えられた条件下につくり出すことこそが土木技術者の本懐であり、その学問的基礎として土木工学があった。

しかし、周知のごとく、環境問題の多面化、複雑化に伴い国土開発をめぐる社会的状況は、大きな変化を遂げ、土木技術者の役割にも変化が生じつつあり、土木技術者に要求される資質も変化してきたと考えられる。これに応ずる工学体系としても、従来の学問分類による個々の体系と知識のみでは環境問題はもとより、新しい情勢の下での地域計画、都市計画、土木構造物や土木機能施設の計画・設計・施工・管理などさまざまな土木界の課題には十分に立ち向かえなくなっている。ここに新しい発想に基づく土木工学の再出発が期待されるゆえんがある。従来の学問の蓄積は尊重しつつ、それらを新しい発想に基づく学問体系のなかに融け込ませるべきである。

技術者の使命の大部分が「つくること」だけである時代が過ぎ去ろうとしている今日、これからの土木技術者は、いかなる知識を基に、いかなる資質を糧に、新しい時代に立ち向かうべきか。

土木技術者の本来の使命が、それぞれの地域に、新鮮な技術的手段を加えることによって住民の生活の向上に資し、その結果、新しい文化創造の基盤をつくることに変わりはない。その意味で、かつては抽象的表現に止まっていた「文化創造」も、これからは実質の意味を持ってきたといえる。建設することが必ずしも自動的に「文化創造」とはいえなくなった現在、建設を通して、周辺の自然および社会環境にどのような土木施設を核とすべきか

を、土木技術者自身が考える必要に迫られてきたからである。

元来自然を相手とする土木技術においては、今後は単に自然的特性の解明に止まらず、開発との関わり合いにおいて「自然」を見直し、土木技術者の観点から新しい自然認識の哲学の確立が必要である。従来の土木工学の根幹であった土木材料や応用力学についても、最近の新材料開発、複合材料の出現、また電子計算機の広範な利用、極限設計などの新しい学問や手法の展開に応じた材料工学、各種の応用力学相互の関連に留意した連続体の力学の概念に照らした編成を整えるべきである。

これらを要するに、土木技術者は、ものをつくるにしてもその本来の固有目的に止まらず、それがその周辺の文化環境に果たす役割、それができ上がったあと、その周辺の自然および社会環境に与える影響について、深い洞察を払わねばならなくなった。この「土木工学大系」は、このような新しい発想のもとに、新しい土木工学のあり方についての試論的体系である。

このような試みが従来無いだけに、不十分、不適切な点もあらうと思われる。しかし、いまこそ大胆にして新鮮な発想を臆せず世に問うべきときであらう。むしろこの体系を叩き台にして、土木技術に携わる人が、これからの土木工学について議論を起こし、ひいては新しい時代の国土開発のあり方を考える契機となり、よりよい国土環境創造の一助となれば幸いである。

1976年9月

土木工学大系編集委員会

まえがき

土木工事には、地形・地質・海象・気象・水文など現場の諸条件により、それぞれ個別の特徴があり、しかも近年工事の大型化・急速化・省力化に加えて、さらに安全の確保、工事公害の防止などさまざまな要請が生じていることから、工事の施工法は著しく多様化の度を加えつつある。したがって、施工に当たる技術者にとっては、個々の施工法に対する知識を身につけるとともに、これら多岐に亘る施工法の適性を十分に理解し、どのようにこれらを適用するか判断力や、どのようにバリエーションを加えるかの応用力を養うことがきわめて重要になってきた。

このようなことから、本書は、施工の断片的な知識修得よりもむしろ総合的な考え方や判断基準の把握に重点をおき、施工に当たる際の基本的着眼点、工法選定に際して留意すべき事項、さらに現場における管理のあり方などをもって構成しており、個々の施工法についての細部の解説などは省いた。

本書の内容について概要を述べると、

1章序説に続き、2章では、施工管理の心構えや方法など工学以外の施工に対する基本的な考え方を述べている。ご承知の通り、土木工事の種類は、道路・鉄道・港湾・空港・治山・治水・発電所などきわめて広範にわたっている。しかし、これらの工事を、作業単位でみると、何れも「掘る」「基礎をつくる」「コンクリートを打つ」という作業に集約される。これら施工技術の基幹作業を、掘削工・基礎工・コンクリート工として、それぞれ4、5、6章に記述した。そして、施工全般にわたる項目として、建設機械を3章に、作業改善の方法を7章に取り上げた。

土木施工は経験工学とも言われており、施工の着眼点を論ずるといっても、その見解は、執筆者自身の経験により多少異なってくるのは否定できない。

いが、本書では、普遍的な論旨の展開を図るため、多勢の方々に執筆をお願いし、出来得る限り実績をもとに実証的な記述を試みた。本書が土木系学生諸君のよい指導書となり、また施工業務に携わる実務家にとってよき指針となれば幸いである。

なお、本書の執筆に当たっては、多くの方々から有益な御助言をいただいた。また、細川武氏（大成建設株式会社）、藤田圭一氏（株式会社 間組）、田中壬子也氏（株式会社 熊谷組）、鈴木四郎氏（株式会社 大林組）の4氏には、執筆者の推薦をお願いし、さらに内容について御教示いただいた。ここに、各位に対して厚く謝意を表する。

1977年11月

河野 彰

目 次

1 序 説	1
1.1 土木工事	1
1.2 施工目的	4
1.3 施工技術者の役割	9
2 施工の計画と管理.....	15
2.1 調 査	15
2.2 基本計画	23
2.3 工事運営計画	26
2.4 施工管理	41
3 建設機械	51
3.1 建設機械	51
3.2 機械計画	53
3.3 機械の選定	58
3.4 機械経費	91
4 掘 削 工	105
4.1 掘削工の発展	105
4.2 オープン掘削	108
4.3 トンネル掘削	135
4.4 海底掘削	165
5 基 礎 工	175
5.1 基礎工	175
5.2 基礎工法の選定	186
5.3 杭基礎	196
5.4 ケーソン基礎	227
5.5 地盤改良	246

6	コンクリート工	257
6.1	コンクリート工	257
6.2	コンクリート工の管理	262
6.3	型枠および支保工	289
6.4	汚濁水の処理	319
7	施工法の改善	333
7.1	改善の基本的態度	333
7.2	改善のプロセス	335
7.3	改善の手法とその応用	339
索 引		359

執筆分担

- 1 清水 仁
- 2 清水 仁・鈴木四郎
- 3 兼子 功・桑原章次
- 4 上野正高・宇梶賢一・定兼定一
- 5 荻野英樹
- 6 諏訪正男
- 7 河野 彰・東浦信光

1 序 説

1.1 土 木 工 事

a. 土木工事の分類と構成要素

土木工事の対象分野は極めて広範囲にわたり、しかも時代々々の社会的要請に応じてその内容は変化しつつあるが、現在、建設の対象とされている主な土木構造物を考えても次のようなものがある。

- (1) 交通・運輸施設：橋梁，トンネル，道路，鉄道，港湾，空港，運河，パイプラインなど
- (2) エネルギー施設：ダム，発電所，送配電施設，原子炉格納容器，LNG施設，石油貯槽など
- (3) 生活環境施設：浄水場，下水処理場，上下水道管渠，廃棄物処理場，造園，宅地造成など
- (4) 治山・治水・海岸：護岸，水制，防災ダム，水門，防潮堤など
- (5) 産業関係施設：ドック，工場施設，工業用地造成など

これらの土木工事に共通する性質を述べると次のようになる。

- (1) 建造物の規模が一般に大きく建設にはかなりの費用と期間がかかる。
しかも、公共の経費によって建設されることが多いため、社会の批判や要請もより大きく受けることになる。
- (2) 50～100年といった長期にわたる供用を期待される場合が多く、計画・設計段階における十分な検討とともに、施工の信頼性が強く要求される。
- (3) 自然や周辺環境とのかかわりが大きい。すなわち、土木工事は自然環境から様々な制約や外的作用を受けると同時に、建設に伴って周囲にも変化をもたらす。これらの影響の度合いによって、たとえ同種の工事であっても建設の方法や難易は大きく異なる。

以上のような土木工事を実行する過程において、プロジェクトの構想を具体的な形に整える段階を一般に計画および設計といい、設計以降の現実に構造物をつくっていくプロセスを施工と称している。

さて、上述のような各種の土木工事の施工は、いずれも掘削・水替え・型枠・コンクリート打設などの作業要素から構成されている。この意味で、土木工事は、工事の特色は個々に相違しているとはいっても、基本的には“掘る、基礎をつくる、コンクリートを打つ”といったプロセスに集約され、施工面からはいずれも非常に類似している。そして、それぞれの工事は、それぞれの制約条件に従って、投入する資機材や工法・手順が決められるのである。

以下、工事施工に大きなウェイトを占める掘削工、基礎工、およびコンクリート工についてその概要を示す。

b. 掘削工

土木工事は多かれ少なかれある程度の地形の改変を伴うもので、土地造成工事やロックフィルダム・築堤・トンネル・道路土工・浚渫などのように、工事の大半が掘削およびそれに伴う運搬・盛土といった作業によって占められる場合もある。施工技術としての掘削工は、歴史的に最も古いものの一つであるが、土質力学や岩盤力学などの研究が進み実際の工事に活用され、また、山止め・地下水処理・地盤補強など補助工法の発展をみたのは比較的最近のことである。しかし、現在においても、複雑で不確定なところの多い地盤を相手とするだけに、事前の予測には限度があり、現場技術者の経験や技術的識見に負うところが大きい。

また、近年では、月間施工量が数 10 万 m^3 に及ぶ大規模な掘削工事や、施工条件としても、軟弱な沖積地盤における工事や、都市内の密集地での工事、長大トンネルの施工、あるいは海底地盤の掘削など、掘削工は質的にも量的にも新たな対応を求められている。

c. 基礎工

土木構造物の基礎は、長期にわたって大きな荷重に耐えることが必須要件となる。また、基礎は地中や水中に没してしまうものであって、工事完成後

にこれを検査したり補修することは容易ではない。しかも、基礎の出来栄えは、施工の方法や管理の程度によって大きく左右される。

また、基礎として一般に用いられているものに、杭基礎・ケーソン基礎・直接基礎などがあり、更に地盤補強のための種々の地盤改良工法があるが、どのような基礎工法を選定するか、そして、どのような方法で施工するかは、荷重や土質など設計条件からばかりでなく、騒音・振動の問題や利用スペースなどの施工上の制約によって異なってくる。このため、実施に当たっては、設計の段階から施工者が参画することも少なくない。

d. コンクリート工

鉄筋コンクリートは現在までに約 100 年の歴史をもっているが、我が国で一般に用いられるようになったのは大正期以降のことであり、また、PC コンクリート技術が導入されたのは 1950 年前後のことにすぎない。コンクリート工は、鉄鋼の約 200 年の歴史と比べても、ライフサイクルの長い土木技術のなかでは比較的新しい技術といつてよい。

コンクリートは、任意の形状の構造物が原位置でつくられること、重量は大きいが安定性を必要とする土木構造物には適していること、工費的に他の構造よりも経済的になることが多いことなどのために、ダム、橋梁、トンネル、擁壁、岸壁、滑走路など各種の工事において、構造材料の主力として定着している。

しかし、コンクリートはそもそも不均質になりやすい材料である上に、施工が終わって初めて材料としての最終的な品質が確定するもので、この点、同じ構造材料でも鉄鋼の場合とはかなり趣を異にしている。現場に打ち込まれたコンクリートが構造材料としての信頼性を確保できる条件は、練混ぜ・運搬・打設・締固め・養生といった施工の各過程で、コンクリート工の基本に従った適切な管理がなされることである。

また、コンクリート工は型枠支保工の組み外しを始め、多くの現場作業を伴うもので工事全体の工期・工費に大きなウェイトを占めており、この省力化も施工の大きなポイントである。

本書では、上述の施工技術の三つの基幹分野を中心に、更に建設機械およ

び施工管理を加え、これら施工の最小公約数とも言うべき五つの側面から工事施工の基本的な着眼点を考察していくこととするが、まず、ここで施工の目的および工事施工に携わる土木技術者の役割についても若干述べておきたい。

1.2 施工目的

施工担当者は、所定の建造物を、要求される仕様を満足するように、予定の工事期間内に、工事の十分な安全性を確保しながら、しかも経済的に完成させることを要求されている。すなわち、工事施工の目的は、工事をその意図に添い、良く(品質)、早く(工期)、安く(工費)、かつ安全に遂行することに集約される。

さて、こうした複数の目的を追求する場合、目的が相互に関連し、一つの目的を達成しようとするれば他の目的も同時に進捗するものであればよいが、目的が相互に干渉し合う場合は、どの程度の満足度をもって総合調整を図るかが問題となる。例えば、ごく模式的に考えても、工期と工費の関係は、一般に、適切な施工速度は工費を安くするが、過度に工期を短縮すると逆にコストは上昇する。また、品質とコストおよび工期の関係は、品質をよくすればコストは増大する傾向にあり、施工を速めて突貫工事をするると品質は低下する。更に、工事では種々の制限や外的条件が複雑にからみ合い、安全・品質・工期および経済性のどれ一つをとっても、画一的にその最適性を定義すること自体不可能といってよい。しかも、これらは同一の尺度で比較できないもので、また、それだけに評価を難しくする。

施工担当者として重要なことは、工事の成否を制するポイントを正しく見通し、そのウェイトに応じて適切な方策をとることであって、ここでは技術的能力とともに広い立場からの常識が要求される。

a. 安全

労働災害統計によれば、1975(昭和50)年の建設業における災害による死傷件数は全産業の約30%を占め、更に1件当たり3人以上の死傷者を生じた重大災害について言えば、件数、死傷者数、死亡者数は、全産業に対し、それ

ぞれ 45 %、39 %、46 % と大きな割合を占めている。しかも、建設工事の施工実績は、ほぼ建築 2 に対して土木 1 の割合であるが、労働災害発件数では土木工事は建設業全体の約 40 % を占め、死亡者数は 50 % 以上に達している。また、都市における土木工事が増加するにつれて、第三者の生命・財産や公共の財産に、事故で被害を及ぼす事例も増加する傾向にある。

人間尊重と建設活動の社会的責任が強調される時代において、このよう

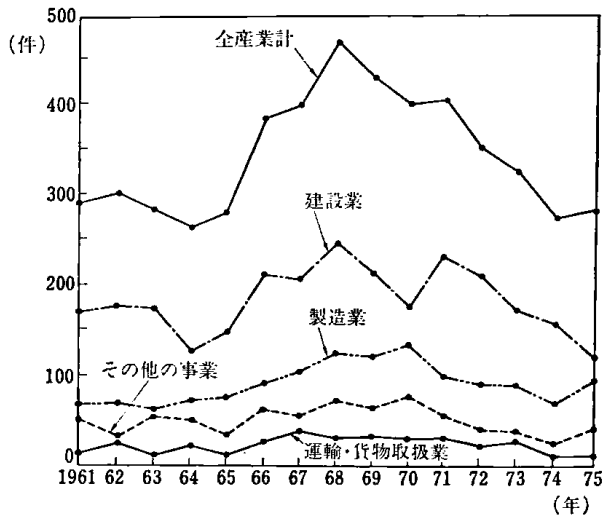


図 1.1 産業別重大災害発件数の推移 (労働白書)

な災害の防止に最善の努力を払うことは、工事を直接担当する建設会社にとっても、また事業主である発注者にとっても当然の義務である。災害の原因によっては、厳しい社会の非難を浴び、工事停止の処分を受けたり、工事関係者が刑事責任を問われたり、更には公共工事の指名停止処分を受ける場合があるなど、その損失は測り知れない。安全を算盤勘定ばかりで論ずるのは必ずしも妥当ではないが、災害に伴う損失の認識のあいまいさが、案外、安全の重要性を過小評価する原因になっているのも事実である。工事の経済性を確保するためには、工事が最も合理的な方法で、最も能率的な手順で行われなければならないのと同様に、工事が最も安全な方法で施工されなければならない。

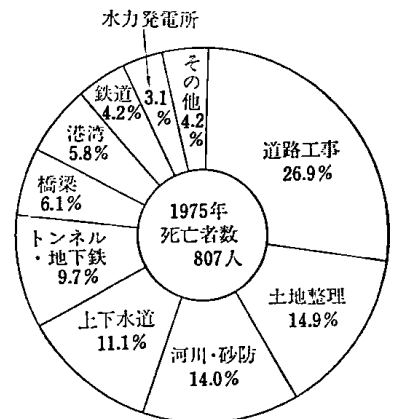


図 1.2 工事種類別土木工事死亡事故

安全に対する配慮は、最初の施工計画の段階から十分に盛り込むことが大

切であり、施工途上における安全管理の充実とともに、不安全要素が入り込む余地を残さないような根本的な安全工法を志向すべきである。一般に、施工のやりやすい単純化・省力化した工法を考え、余裕をもって能率よく工事を遂行することが、厳しい施工条件に耐え危険を避ける最良の手段となることが少なくない。また、予定価格設定や実行予算作成の段階で、安全対策費を直接工事費に匹敵する大項目で具体的に検討するなど、安全のために必要な費用も当然予算化されねばならない。

b. 品質と工事公害

土木構造物は長期にわたる安全性が必要であり、しかも完成後の建造物の品質のチェックや手直しには限度があることなどから、発注者の立場からはできるだけ良質の施工を期待する。一方、工事を担当する施工技術者は、技術者としての良心から良い作品を残すために腕前を発揮するが、同時に所属する建設会社の一員として最低の工事費で仕上げることが要求される。すなわち、施工者にとって「品質が良い」とは「品質が良ければ良いほど良い」という意味ではなく、品質とそれを作り出すためのコストの相互のウェルバランスが重要である。こうした工事当事者間の競合する評価基準を調整する尺度が、工事契約書・仕様書に示された品質の規定である。

請負工事の場合、要求仕様は明快で具体的なものであることが前提であるが、一般にその内容を一義的に定義づけることは難しいものである。工事の final result としての建造物の品質に関連する要素に限ってみても、通常考えられている使用材料、加工・組立の精度、最終出来形など比較的定量的に扱いやすい項目のほかに、基礎の支持力あるいは地盤改良効果など不確定な要素が少なくない。例えば、杭基礎について言えば、杭体そのものの材質に加えて、打込み時の地中部の杭の損傷や施工に伴う周辺地盤の乱れが、基礎工としての品質に大きな影響を及ぼす。更に、こうした発注者に引き渡す成果物についての品質以外に、施工に当たる側としては、沈埋トンネルなど浮体構造物における躯体構造物の重量および浮力、場所打ち杭や連続地中壁のベントナイト泥水の品質など工事手段から要請される品質や、仮設構造物の強度や安定性も施工上重要な品質管理の対象である。

また、最近では工事に起因する生活環境の悪化や、近隣へのさまざまな迷惑、更には地域住民に与える不安度など従来副次的に扱われてきたことが、

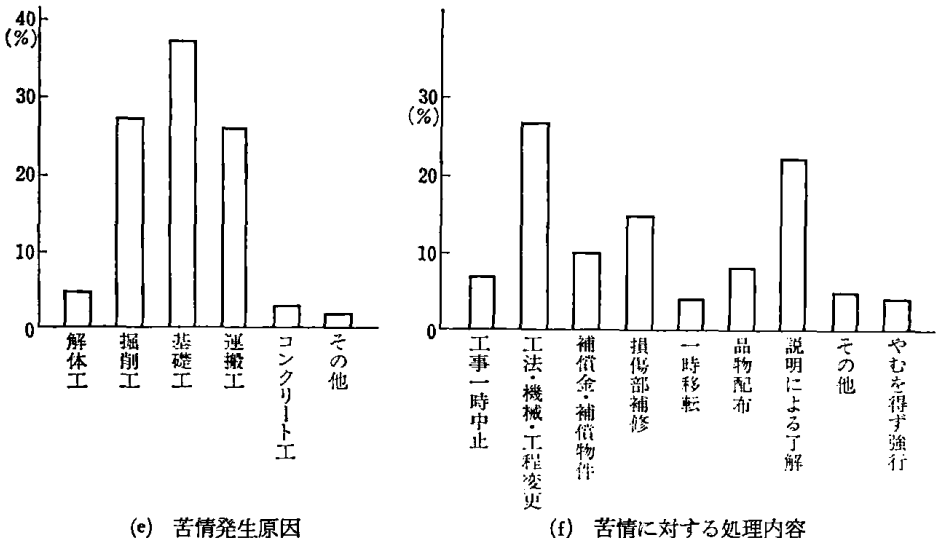
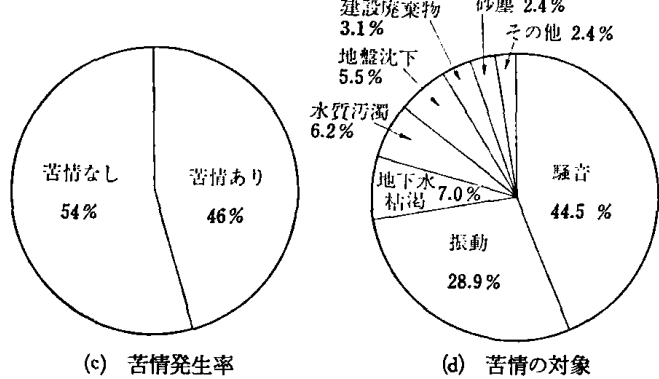
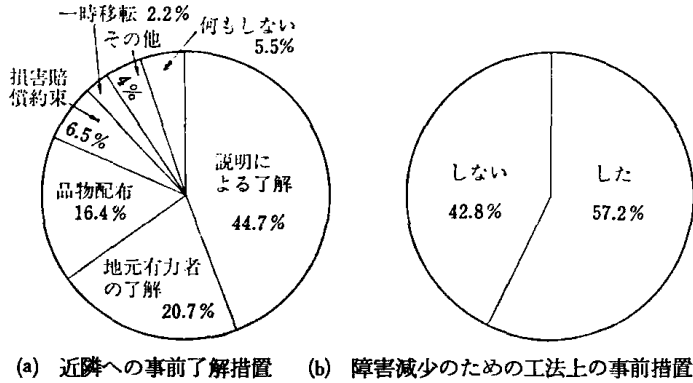


図 1.3 土木工事に伴う公害の実態 (1972 年, 276 現場の調査による)