

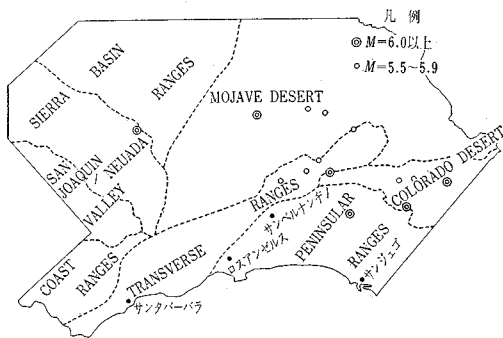
サンフェルナンド地震震災調査報告*

岡 本 舜 三**

土木学会はサンフェルナンド地震が近代的施設を誇る都市に大被害を与えたことに関心をもち地震調査団を派遣した。調査団は筆者(団長)・河上房義・横田潤・久保慶三郎・田村浩一・後藤尚男・久保田昭寿・菊池昭(幹事)・田村重四郎(幹事)の9氏によって構成され、昭和46年3月10日出発、同22日帰国した。本稿では、今回の調査の要旨を報告する。

1. カリフォルニア州南部の地震事情

カリフォルニア州南部の地震事情は、その地質と密接



(アメリカ合衆国カリフォルニア州資源局の資料による)

図-1 南カリフォルニアの地質図

な関係があると考えられている。この地域は主として中生代地層によって構成され、地質的には8地区に区分することができる(図-1)。このうちで今回の地震に関係が深いのは Transverse Range Province と Peninsula Range Province の両地区である。

Transverse Range Province は東西方向に走行している一連の山岳・丘陵・盆地からなり、その東半部は、

中生代深成岩、それ以前の変成岩および火成岩からなる山岳地帯であり、ここを San Andreas・San Jacinto, San Gabriel 等の断層が走っている。西半部は広大な厚い堆積岩からなっている。

Peninsula Range Province においては山脈は北西方向に走行し、古生代・中生代の火山堆積物が広く拡がり海岸部には平地がある。堆積層の厚さはロスアンゼルス盆地において 12000 m に達している。

カリフォルニア州南部の地質の主たる構造は2個の断層帯によって特徴づけられている(図-2)。1つの断層帯は北西方向に走行し(San Andreas 断層ほか)右ずれに動き、他の1つの断層帯は北東方向に走行し(Garlock 断層ほか)左ずれに動く。このほか Transverse Range には東西方向に走る短い断層がある。それは衝上断層であって、北側があがり南側がさがる。

この地区の地震活動は活発であり、最近2年に1回のわりでかなりの規模の地震がおきている。1934年から51年に至る18年間におきたマグニチュード6以上の地震が図-1に丸印をもって示されている。また、最近おきた著名な地震をあげると表-1のようである。

表-1 最近発生した著名地震

地震名	発生年月日	マグニチュード
Long Beach	1933年3月10日	6.3
El Centro	1940年5月18日	7.0
Tehachapi (Taft)	1952年7月21日	7.7
Parkfield	1966年6月27日	5.6
Anzo Borrego	1968年4月8日	6.5
San Fernand	1971年2月9日	6.6

2. サンフェルナンド地震

地震の発生は1971年2月9日午前6時0分47秒、震源は N 34°26.4', W 118°19.6', すなわちサンフェルナンド北西約 15 km, 深さ約 10 km, マグニチュードは

* 土木学会サンフェルナンド地震調査団の公式報告は、委員会報告として土木学会論文報告集に投稿中であり、

** 正会員 工博 埼玉大学教授 理工学部建設基礎工学科

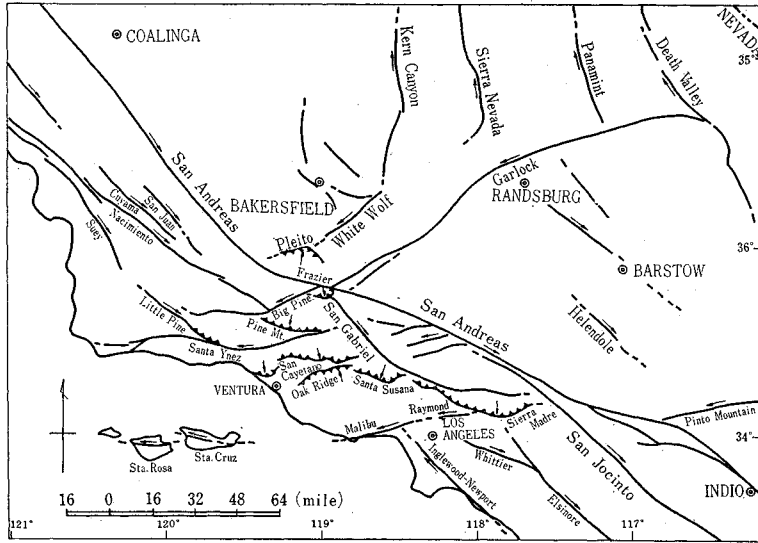


図-2 南カリフォルニアの断層図

6.6, 主要地点における最大加速度は表-2 のようである。

表-2 サンフェルナンド地震主要地点における最大加速度

観測地点	震央 距離(km)	震央 方向	最大加速度 (gal)		
			鉛直	水平	水平
Pacoima Canyon	14	SW	700		1 040
San Fernand Valley	29	SW	280		200
Castaic	32	NW	178	388	316
San Fernand Valley	35	SW			230
Pasadena	37	S	116	184	216
Central Los Angeles	45	SE			130
Long Beach	74	S	19	31	27

図-3 は Pacoima Canyon で記録された加速度とそれに基づいて計算した変位および応答スペクトルを示している。最大加速度が 1 040 g にもなっていること、最大変位が全振幅で 80 cm にもなっていることが注目される。また、応答スペクトルに見られる卓越振動周期は 0.4 秒および 0.9~1.7 秒である。ただし、この谷では岩石の崩壊や亀裂が多く見られたので、この大きな加速度は、それによる衝撃ではないかともいわれている。

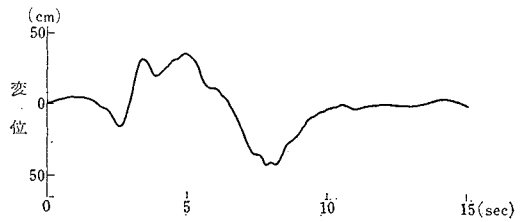


図-3 (2) パコイマ・ダム (1971年2月9日) における地震動の変位—S16°E 方向成分

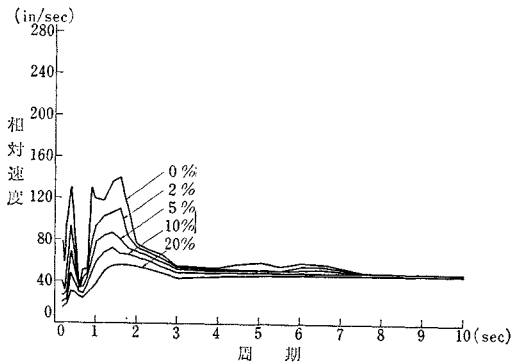
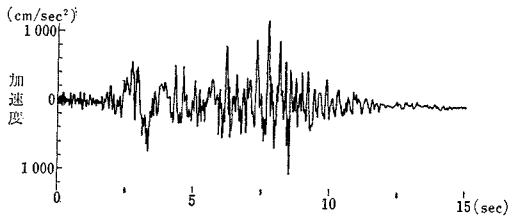


図-3 (3) パコイマ・ダム (1971年2月9日) における相対速度応答スペクトル—S16°E 方向成分



(G.W. Housner 博士のご好意による。図-3 (2), (3) も同じ。)

図-3 (1) パコイマ・ダム (1971年2月9日) における地震動の加速度記録—S16°E 方向成分

被害の著しかったのはロスアンゼルス中心部の北東 35 km 付近に三角形に拡がった沖積平野サンフェルナンド溪谷で、このうちとくに激甚な被害地区はその北部 13 × 13 km の地域であって、東京の市街地区の 1/2 弱にあたる (図-4)。この地区は周辺を山岳または丘陵によって囲まれ、山麓付近の表層地盤は薄い残積土からなり土質はローム・砂質ローム・礫まじりローム等である。

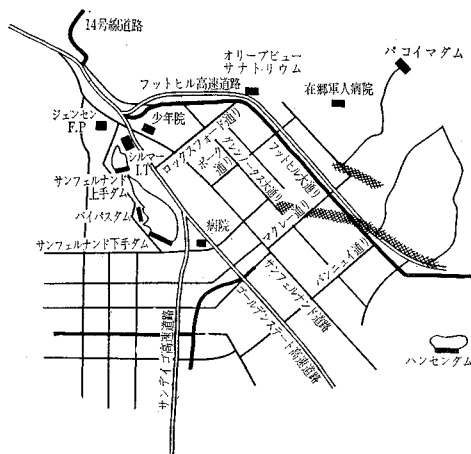


図-4 激甚な被災を受けた地区の概略図

沖積平野の大部分は段丘堆積層および第4紀沖積層で、土質はローム・砂質ローム・礫まじりロームである。沖積層の厚さは最大 130 m 程度と推定される。

この地震の原因であるとの説のある断層は Mission 丘陵の南縁から Verdugo 山岳に至る間に地表に現われている（写真-1）。傾斜はほぼ 45° に近い。断層が地表に



写真-1 Foothill 丘陵の南縁に現われた断層

現われた地点では地盤の沈下や圧縮伸張が認められ、構造物や舗装等の被害がその場所においてとくに著しく、この地区にあった在郷軍人病院では多数の死者を出した。地盤の流動化については、バンノーマン上手貯水池の北側やサンフェルナンド下手ダムの基礎等に、この現象が発生したといわれているが明らかではない。

3. 用水施設の被害

雨量の少ないこの地方では、きわめて大規模な用水供給施設をもっている。ロスアンジェルスではコロラド河水路によるコロラド河の水、カリフォルニア水路による

中部カリフォルニア山岳地帯の水および周辺山地部に設けられた貯水池による水を用いている。このうちコロラド水路関係は震源から比較的離れていて被害はない。カリフォルニア水路関係では、震源に近いために沈殿池および用水トンネルに被害を生じた。

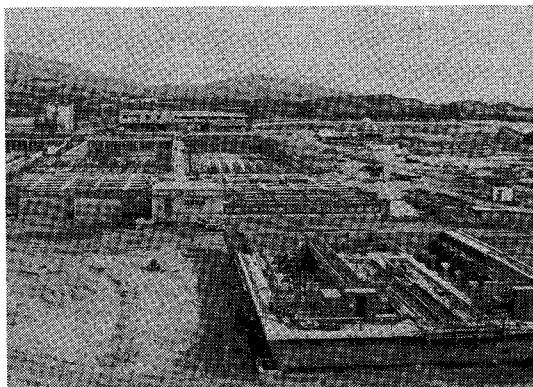


写真-2 ジョセフ・ジェンセン浄水場の全景

ジョセフ・ジェンセン浄水場は震央南西約 35 km に目下建設中で、すでに 8 分通りはでき上がっており、沈殿池と貯水槽とからなっている。このうち貯水槽が大きな被害を受けた。地下貯水場は面積 150 m²、高さ約 11 m の地下構造物であるが、西側の鉄筋コンクリート側壁が破壊され、また支柱の上下両端が破壊された。原因はおそらく大きな地盤のひずみによるものであらうと思われる。

バルボア用水トンネルは、幹線トンネルから沈殿池に至る延長 1 600 m ・内径 4.2 m のトンネルであるが、南側の 450 m が被害を受け、とくに出口に近い 30 m 区間では上部アーチコンクリートが破壊された。

また、カリフォルニア水路水系に目下建造中のカスティクダムは高さ 126 m ・長さ 1 560 m のアースダムですでに 8 分通りでき上がっているが、このダムは San Andreas 断層にきわめて接近し、かつ Garlock 断層の直上にあり、震央から 32 km しか離れていないが、被害を受けなかったといわれている。

都市周辺に設けられたダムにはパコイマ（アーチダム）、バンノーマン（アースダム・サンフェルナンドダムともいう）その他があるが、バンノーマンダム以外は事実上の被害はなかった。ただ、バンノーマンだけは致命的打撃を受けた。その原因はダムが水締めであったためであらうとされているが、その位置が断層線に接近していることも原因しているものと思われる。

バンノーマン貯水池はサンフェルナンドの北端に位し、下流より下位ダム・パイパスダム・上位ダムの 3 個のアースダムがある。下位ダムは高さ 43 m ・長さ 664 m ・上流面勾配 2.5 割 ・下流面勾配 上部 2.5 割 下部 4.5

割の断面をもち、1915年に供用開始された。基礎は河成堆積層で岩盤までの深さは約10mである。堤体は砂およびシルトを主として水締め工法によって築造された。竣工後上流面にコンクリートフェーシング、下流面にロックゾーンと、転圧工法による断面補強を行なっている。

地震により下流のり面にはじまる円弧状のすべりによって貯水池側にダムを全長にわたる崩壊をおこした(写真-3)。このため下流住民の避難が行なわれたが、幸に

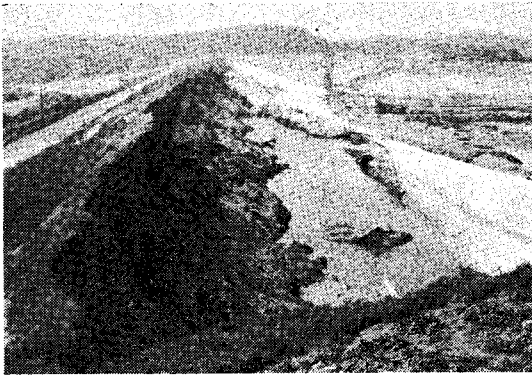


写真-3 バン・ノーマン下位ダムの被災状況

して欠壊をまめかれた。

上位ダムは高さ25~12m・長さ530m・のり面勾配は上下流とも2.5割であるが、下流側には非常に広い犬走りがあり、堤体は著しく大きくなっている。このダムは、1921年から使用されている。堤体は水締め工法によって築造され、上流面はコンクリートフェーシングされている。地震時には満水状態であったが、天端が90cm沈下、下流側へ1.5m移動し、フェーシングがひどく破壊された。

バイパスダムは高さ27mで昨年竣工したアースダムであって岩盤基礎上にあり、堤体は近代的な転圧工法によって建設されたものである。上下流面ともアスファルトフェーシングをもっている。地震時には満水状態であった。ダムの被害はフェーシングの一部に亀裂と座屈を生じたが堤体には異状はなかった。円弧すべり面を仮定して堤体の安定を計算したところによると、下位ダムでは震度0.15で上位ダムでは震度0.35で安全率がやや1を下回ることになるが、このことは両ダムの破壊の程度と大体一致している。この地域の地震観測データはないが、0.4程度であったと想像されている。もっとも、このような試算は材料の強さや地震力の分布についての仮定のしかたによっては、かなり異なった結果が得られるものであるから、今後材料についての動的性質やダムの損傷状況の詳細な調査結果をまて、さらに問題を究明する必要がある。

4. 道路施設の被害

震災地を通過しているおもなる道路はゴールデンステート・サンディエゴ・フットヒル14号線等である。これらの道路には築堤部が多いが築堤被害は少なく、舗装や橋梁、とくにインターチェンジにおいて著しい被害を生じた。

舗装の被害は断層による地変によるものであって、地盤のひずみのために、舗装の開口または座屈が認められた。

ゴールデンステート高速道路(5号線)とフットヒル高速道路(210号線)のインターチェンジでは、210号線から南行5号線への跨道橋7径間、北行5号線から210号線への跨道橋および南行5号線自身の桁が落下した。このうち、210号線から南行5号線への跨道橋は径間長30~40mの鉄筋コンクリート箱桁橋で、橋脚の高さは最高20mである(写真-4)。すべて一様に西側に倒れ、

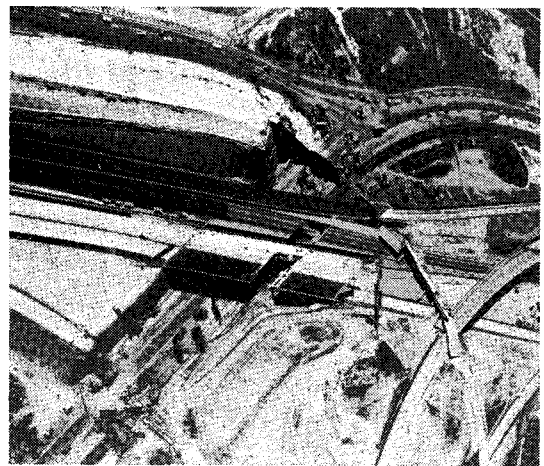


写真-4 5号・210号線の被災状況

そのためにその下をとおる5号線の橋桁が破壊された。橋梁の損傷で注目されることは橋脚の基礎は概して丈夫な地盤までつけてあるが、橋脚断面が細くそのために底部が折れていることである。この細い断面を補なうために径50~60mmの太い鉄筋が多数用いられているが、ボンド長が短く、すべて引き抜けている。

また高さの低い脚柱の場合は、その上下両端部の応力集中のために座屈している例が非常に多い(写真-5)。コンクリートが塊状になり、そのまわりを折れ曲がった鉄筋が、かご状にとりかこんでいる例は随所に見られたが、その際、らせん鉄筋や帯鉄筋のような抗せん筋は、きわめてわずかしき入れられていなかった。

5号線と14号線のインターチェンジでは両者を結ぶ曲線跨道橋において中央部の橋脚1基とその両側の2径

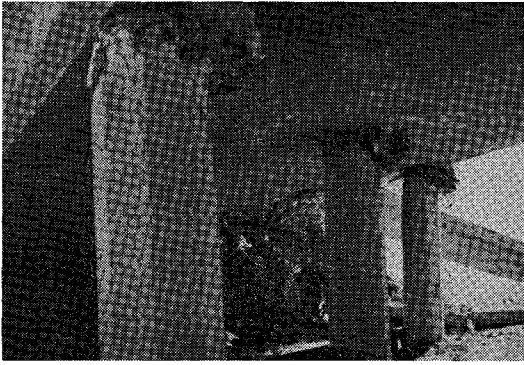


写真-5 橋脚の座屈例

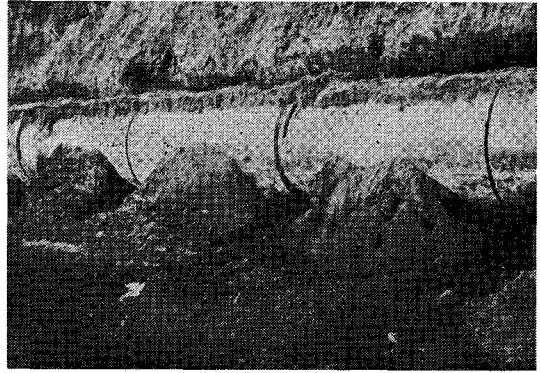


写真-7 水道管の引き抜きの例

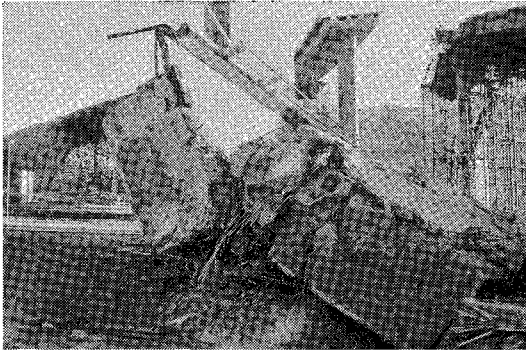


写真-6 橋桁の落下例

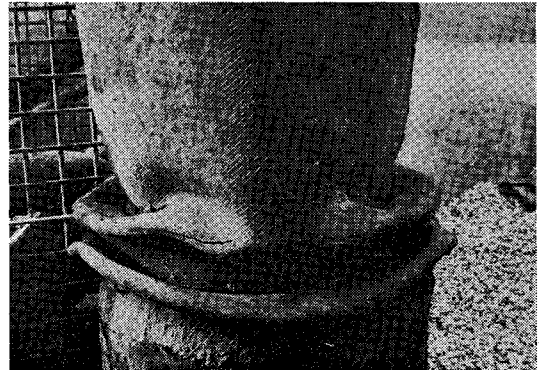


写真-8 水道管の座屈例

間の桁が落下した(写真-6)。径間長は約 60 m・橋脚高約 60 m で強いカーブを描いており、地震時にはかなり大振幅をもって振動したものと思われる。これに対して、桁の桁がかりが少なすぎて桁がはずれ、橋脚は桁と剛結されているために異常な力を受けて根元部で折れたものと想像されている。この橋脚以外にもかなりの高さの橋脚が付近にあるのに、それが倒れていないという点から、桁の落下がこの大被害の原因であろうとされている。

5. 地下埋設管の被害

水道施設はサンフェルナンド溪谷の高地への供給幹線が地盤変動のため各所で破壊した。管の漏洩 708 か所、供給分岐の漏洩 828 か所、消火栓 49 か所、ゲートバルブ 39 か所という被害数字があげられている。とくに被害の大きかったのはパンノーマン貯水池西側の地区、ロックスフォード通りとフットヒル大通りの間のヤーネル、オーデン両通り、マクレイ街の北部方面であって、いずれも地変の著しい地域と一致している(写真-7, 8)。

水道管には鋼管も使用されているが、大部分は鋳鉄管で小径鋳鉄管が多く破損した。継手形式は主として bell and spigot type である。鋼管では dresser 継手が多く

使用され、溶接のときも隅肉溶接が主で突合せ溶接はまれである。

都市ガス管はすべて鋼管が用いられているが、バルブには鋳鉄のものもある。地変のひどかった地域において被害が多く、その区域は、おおよそ水道管の被害区域と一致している。

石油輸送管もこの地区を通過しているが、いずれも鋼管であって、ほとんど被害はなかった。ただし、天然ガス輸送パイプラインのうち 50 年前に設置された 16 in の輸送管は 60 か所で溶接部が引張破断した。しかし、なかにはベローズ状に圧潰したものもあった。

6. 電力設備の被害

電力施設の被害はシルマー直流変換所・サンフェルナンド発電所・オリーブ超高压変電所等シルマー地区の施設被害が主であり、とくに著しい被害をうけたのはシルマー直流変換所であった。

シルマー直流変換所は Pacific Inter Tie の南端にあり、北部にある直流変換所と組んで広域運営を行なうもので昨年に運転を開始したばかりである。同変換所は、この地震によって大打撃を受けた。すなわち、フィルター区域では機器の転倒、基礎台上での滑動、基礎台の沈

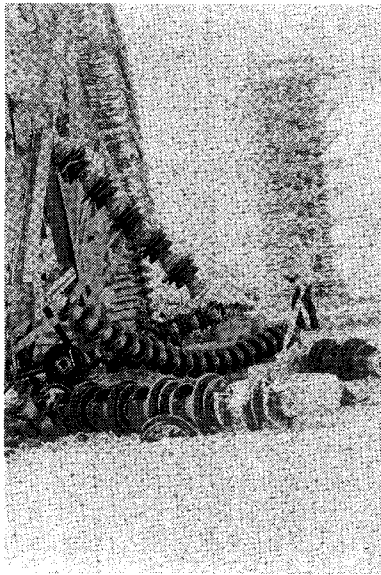


写真-9 シルマー直流変換所の被災状況

下、また、がいしの折損や落下、ブスバーの溶接部の切断および落下等が数多く見られ、制御室内では degasing 機器の移動のほか吊線の切断による電流分配器の落下とそれによる水銀整流器の破損など重大な被害もみられた（写真-9）。これらの修復には1年以上を要するといわれている。

7. 結 語

今回の地震を視察して感じたことは次のようである。第一に、大規模はもちろん中級地震でも、その震央部では重大な震害を生じうるほどの強さならびに地変を生ずるものであるから、その性質を明らかにすることが必要であること、第二に、振動加速度のみならず地変を設計の目的で量的に定める研究が必要であること、第三に、曲線橋、斜橋等の振動性状を明らかにせねばならないこと、第四に、動的外力に対する鉄筋コンクリート構造部材の合理的設計法の研究、さらに一般に振動と破壊の関係の研究等が必要性であることである。さきに新潟地震が地盤の流動化の重要性を教え、ペルー地震が山津波の恐ろしさを教えたように、サンフェルナンド地震は、われわれにこれらの点を教えているように思われる。

以上は団員がおのおの分担して調査したところを要約したものであって、詳細は近く土木学会論文報告集に発表の予定である。終りに、本調査にあたり多大のご協力ご支援を与えられた G.W. Housner, D.E. Hudson, R.L. Jennings, C.E. Allen (以上 CIT), M. Duke (UCLA) 各教授、カリフォルニア州交通局・ロスアンジェルス水道および電力局・南カリフォルニア首都水利局・西海岸モービル石油協会・ゲッティー石油・アメリカ合衆国三菱・鹿島国際各会社・日本鋼管ロスアンジェルス支店ならびに東京電力・関西電力・電源開発の各社に謝意を表す。

土木学会 出版物の マイクロ フィッシュ フィルム 頒布中

●問合せ先
土木図書館

日本インフォメーションマイクロ(株)と提携して右記の土木学会出版物のマイクロフィルム化を終わりましたのでご希望の方はお申出下さい。マイクロフィッシュフィルムとはハガキ大のフィルムの中に60ページの文献を収録した新しい情報管理システムです。

1. 土木学会誌・論文集総索引

■5シート(252ページ) 1600円(千とも)

内容 創立50周年記念出版物として刊行されたが既に絶版となっている。創刊より38年末までの土木学会誌・論文集の題目を専門別に分類した索引集。

2. 土木学会論文集・第1号～第124号

■206シート(約8,000ページ) 62100円(千とも)

内容 第1号(昭和19年)より第124号(昭和40年)までに収録された全論文のフィルム。

3. 土木学会誌・第1巻～第50巻

■1469シート(約70,000ページ) 358000円

(千とも) 〈分売可〉

内容 第1巻(大正4年)より第50巻(昭和40年)までに収録された広告を除く全文のフィルム。

4. 土木工文学文献目録集(1969)

■46年6月下旬完成予定

2000円程度

内容 土木学会誌第55巻(昭和45年)文献目録欄に登載された目録1カ年分を再分類した目録集。