

粘着性土の分散処理と団結処理について*

正員 山内 豊 聡**

TREATMENTS OF COHESIVE SOILS BY DISPERSION AND AGGREGATION AGENTS

By Toyotoshi Yamanouchi, C.E. Member

Synopsis: In this paper is reported, with a view to obtaining some basic guidance for practical application in stabilizing soils by themselves or combining them with other additives, fundamental effects on the cohesive soils by the dispersion agent whose major ingredient is calcium lignosulphonate as well as by the aggregation agent of polycalcium maleate-vinyl acetate.

After comparing the consistency and compaction density of soils affected by these opposite two treatments, such properties as water immersion resistance and unconfined compressive strength of test specimens compacted with both dynamic and static loads were investigated. As a result, peculiarities of the strength of these treated soils were made known in connection with the phenomena of over compaction and thixotropic strength gain.

要 旨 本文は粘着性土に対するリグニンスルホン酸カルシウムを主成分とする材料による分散処理と、醋酸ビニールとオレイン酸の共重合体による団結処理の効果を土質工学的に述べたもので、これら相反する二つの処理による土のコンシステンシーおよび締固め密度に対する効果を相対的に比較して示したのち、動的および静的に締固めた供試体の水浸に対する抵抗、および一軸圧縮強度をしらべ、過剰締固めおよびシキソトロピー性の強度増加の現象に関連して、一軸圧縮強度の特性を明らかにし、単独または他の材料と併用添加して土の安定処理に応用するための基礎的な指針を示した。

緒 言

土の安定処理は、砂質土については多くの場合処理が比較的容易であるので、問題は粘着性の土に多く残されている。土がある程度以上粘着性のものであれば、化学的材料が土粒子に対し界面現象的に働くので、このような土に対して効率のよい微量添加材に期待が持たれる。添加材を土に作用させるには、その量の多少を問わず土の粉碎と混合が必要であるが、最近施工機械の発達によってそれが次第に可能となり、このような試みが実用化に向かっているといえよう。

前報¹⁾で示したように、土粒子間の反発性や分離性をよくし、massとしての土をウォークャブルにする材料は分散材であり、これと反対に少量で土粒子を凝集して土中の空気量を増し、したがって土の保水能力を高める働きをする材料は団結材というべきである。これら二つの材料は、このように互いに相反する作用をするが、いずれも単独または他の添加材と併用する応用が十分に考えられるので、それらの処理による土の性質の基本的な変化を明らかにする必要がある。

2. 分散処理と団結処理の対立性

(1) 分散材と団結材

土に効果のある分散材には、細粒土分析に用いているような単純な電解質塩をはじめ、テトラリン酸ナトリウムのような多価電解質塩および最近発達した界面活性材がある。このうち最も実用的な材料は亜硫酸パルプ廃液の濃縮液または抽出物であると考えられる。

相対的に考えて、Mg や Ca のような 2 価あるいは 3 価の電解質塩も団結材であるが、土粒子を結合させる力が弱く、凝結材としての効果の範囲を出ない。土に対して微量で団結作用のあるものはアニオン性多価高分子電解質であることが知られている。このうち醋酸ビニールとマレイン酸の共重合体と、ポリアクリル酸ナトリウムがその代表的なものである。

本文でいう分散材と団結材は特記するもののほか、それぞれリグニンスルホン酸カルシウムを主成分とする亜硫酸法パルプ廃液の抽出物(粉末体)、および醋酸ビニールとマレイン酸の共重合体(粉末体)であり、また混

* 土質工学会 10 周年記念秋季講演会 (昭.34.10) で発表

** 九州大学助教授, 工学部土木工学教室

合はすべて手混ぜによるものである。現在それらの材料は 1 kg 当りそれぞれ 50 円および 600 円程度であるが、今後さらにコストを下げる可能性がある。

(2) コンシステンシー

分散材と団結材は土のコンシステンシーを変える効果がいちじるしく、その実例は 図-1 に示すとおりである。分散処理土はだいたい A 線に平行的に左下方に、団結処理土は右上方に移動し、それらの変化は実用的に意義のある大きさである。したがってこのような少量の添加混合処理によって、材料としての土の利用度を高くすることができる。

(3) 締固め密度

本文ではハーバード型の締固めモールドを用い、動荷重および静荷重を次のように定める。

動荷重：圧力 40 lb のスプリング式のタンパーを用い 25 回×3 層に突固める。

静荷重：CBR 試験装置を用い、200 kg の荷重で静的に締固める。この荷重は前者の方法によるものとはほぼ同じ最大密度をあたえるように選んだもので、締固め方法は BS (安定処理土の試験方法) 1924 : 1957 に準ずる。

分散材および団結材を添加した三種の土の静荷重による締固め特性曲線は 図-2 に示すように変化する。分散処理土は低い含水比でより高い乾燥密度を、団結処理はこれと反対により高い含水比でより低い乾燥密度をあたえ、曲線のピークはほぼ飽和曲線に沿って移動する。これら二つの処理のうち、分散処理によって土の締固め密度を高め、その力学的性質を改良することは利用価値が高いと考えるが、団結処理を応用するのは一般に特別の場合であろう。

3. 分散処理土の耐水性

分散処理によって乾燥密度が増大された土の mass は、空気間げき率が低くなるので水浸時の毛管水の浸透がおそくなり、水浸以前の土の力学的性質が保持される。この効果は 図-3 に示すようにスレーキング時間を測定

図-1 コンシステンシーに対する分散処理および団結処理の効果

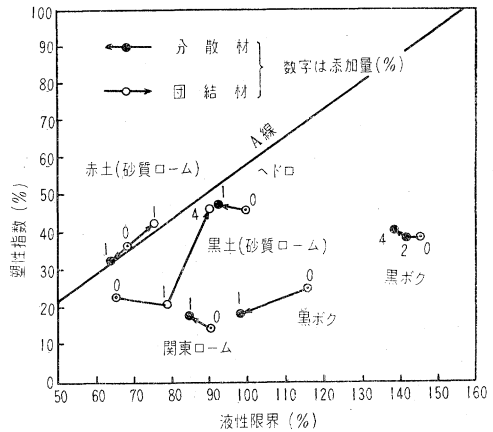


図-2 分散処理および団結処理による締固め密度の変化

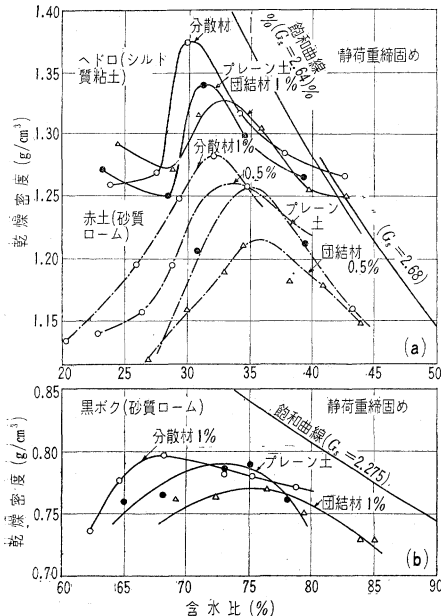
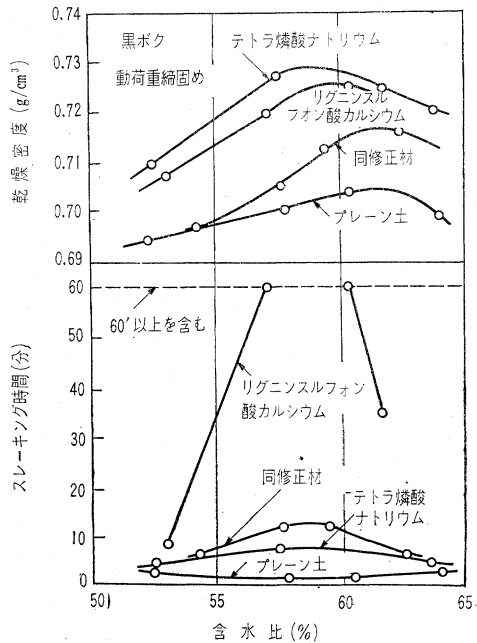


図-3 分散処理土の乾燥密度とスレーキング時間の関係



することによって確かめられた。しかし分散材のうちでも過度に親水性の材料は水浸時に軟化しやすいので、密度が増大される割合に耐水性の改良される効率がよくない。リグニンスルホン酸カルシウム等の材料は最初親水性であり、ついで疎水性的になるので最も有効に利用できる。いずれの種類分散材にあっても、最も高い耐水性がえられるのは最大乾燥密度付近である。

本文で分散材として取扱っているリグニンスルホン酸カルシウムを主材とする材料はまた、ほかの助材を併用して不溶性とし、水浸時の圧縮強度を改良できることが²⁾わかっている。筆者の別の実験³⁾によれば、同一の分散材と各種の助材を組合わせて水浸圧縮強度をしらべた結果、その強度は水浸によって吸収増加した含水比の関数であることがわかった。すなわち水浸強度は分散材料が土の密度増加に寄与する分散効果と、分散材および助材自身、またはそれらの結合したものの親水性の程度の相殺の結果である。このことは分散材を他の材料と併用して土の強度を改良するうえの一原理を示すものである。

4. 分散処理土の強度

(1) 密度と一軸圧縮強度の関係

分散処理した土の最大乾燥密度における供試体の三軸圧縮試験による内部摩擦角 ϕ は、分散処理しないプレーン土のものにくらべて増大するが、粘着力 c は減少することを前報¹⁾で示したが、土の一軸圧縮強度 q は次の式で表わされる。

$$q = 2c \frac{\cos \phi}{1 - \sin \phi}$$

したがって前報で示した三軸圧縮試験の結果を用いて、一軸圧縮強度を計算すると表-1に示すようになり、最

表-1 最大乾燥密度における土の強度の変化

試 験	黒 ぼ く		茶 褐 コ ナ	
	プレーン	分散材* 1%	プレーン	分散材* 1%
最大乾燥密度 (g/cc)	0.975	1.008	1.129	1.141
最適含水比 (%)	53.2	53.1	46.8	45.7
内部摩擦角 (度)	35.5	46.0	31.5	40.5
粘着力 (kg/cm ²)	0.58	0.17	0.85	0.55
一軸圧縮強度の計算値 (kg/cm ²)	2.25	0.80	3.04	2.39

* 分散材はリグニンスルホン酸カルシウム、アルキルアリルスルホン酸および CaCl₂ の混合材料。

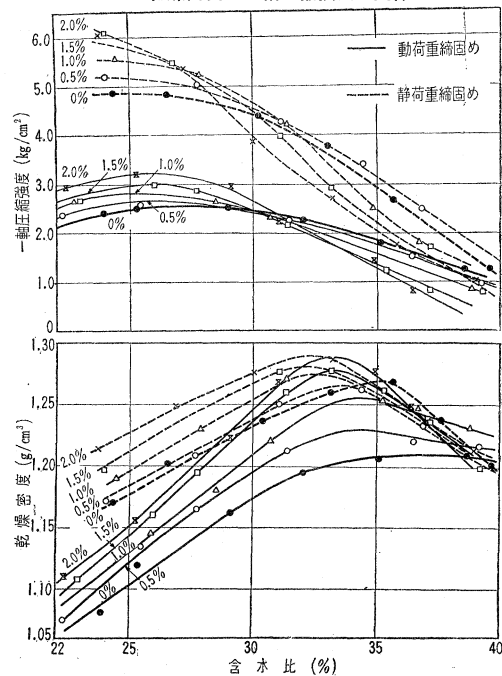
大乾燥密度の増大は単純に一軸圧縮強度の増大を意味しない。しかしテルツアギの限界支持力は、しばしば粘着力の減少よりも内部摩擦角の増大の影響が優越して増大される。

分散処理を行なった非火山灰質砂質ローム（第三紀層の赤色土、九大付近地）の、動荷重と静荷重によってつくった双方の供試体の乾燥密度とそれらの一軸圧縮強度をしらべると図-4に示すようになった。この試験結果は次に述べるとおりである。

分散材による最大乾燥密度の増大にともない最大一軸圧縮強度は増大するが、いずれの添加量においてもすべて最適より低いある含水比で強度の増大値がえられる。したがって最大乾燥密度の供試体をつくると一軸圧縮強度はかえって常に低下する。このことは、最適含水比より低い含水比で最大強度があらえられるという、従来知られている締固め土の性質が分散材応用の場合にも変ることのないことを示すものである。

次に分散材の同一量に対する密度増加量は、動荷重の場合には含水比の高いところで大きく、静荷重ではこれと反対に低い含水比で大きく、また静荷重による締固め供試体の一軸圧縮強度は、同一乾燥密度の動荷

図-4 動荷重および静荷重による締固め分散処理土の乾燥密度と一軸圧縮強度の関係



重のものにくらべてはるかに大きく、2倍程度にも達している。このように、分散材による密度増加にともなう強度増加の割合は、動荷重のものにくらべて相当に大きい。静荷重による含水比・密度曲線は動荷重によるものより平らかであるので、最適含水比より相当に低い含水比で強度の最大値が現われる。

(2) 過剰締固め

粘着性土には多く過剰締固めの現象^{4),5)}がある。この現象は前項でもふれているが、あらためて含水比の異なる数種の材料を準備して分散材を加えて締固め密度を変え、乾燥密度と一軸圧縮強度の関係曲線をつくると図-5に示すようになり、過剰締固めの生ずる限界含水比および乾燥密度が明らかになる。分散材 2% までの範囲においては、動荷重では含水比 30% まで過剰締固めが起きないが、静荷重では 25% で起きる。一般に静荷重による締固めの方が、過剰締固めを起こさないと考えられているが、この場合は前項で述べたように、静荷重の場合の強度の最大点が、動荷重の場合にくらべて相当に低い含水比にあって、含水比の高い部分での密度と強度の逆性が強く現われるからである。したがって静荷重では含水比の高いところで分散材応用の危険性は大きくなる。

以上の性質から、分散材添加によって密度を増加する場合、過剰締固めはすべてプレーン土の場合と定性的には異なるものでなく、また分散材そのものが過剰締固めによる強度の低下を促進するものでもないことがわかる。

(3) シキソトロピー性の強度増加

かき乱された粘着性土はまた、時間の経過にともなって強度が増加するシキソトロピー性の強度増大の性質を持っている。前記砂質ロームの動荷重による成型直後の一軸圧縮強度と、同様の供試体を湿室において含水量を一定に保つことを行なって1日および2日後の一軸圧縮強度をしらべると、動荷重の場合に図-6(a)に示すようになり分散材の効果に関連して次の性質が見出された。

(a) いずれの含水比にあってても、分散処理で変えられた乾燥密度の全般について時間の経過にともなって強度は増大する。低い含水比では最初一日間でその大部分がえられるが、含水比が高くなると終極の強度に到達する時間が長くなる。

(b) 過剰締固めの限界含水比以下のところでは、分散材の量の多いものほど、すなわち乾燥密度の高いものほど時間の経過にともなう強度増加の割合は大きく、限界含水比以上のところでは、シキソトロピー的強度増加の割合は乾燥密度の大きさ、すなわち分散材の量に関係がなくなる。

したがって分散処理による土の一軸圧縮強度の改良は含水比が低いほど大きく、また過剰締固めの現象の起きる限界含水比をかなり緩和する効果がある。

分散処理土の静荷重の場合の、乾燥密度と一軸圧縮強度の関係は図-6(b)に示すとおりである。限界含水比

図-5 動荷重および静荷重による締固め分散処理土の過剰締固め

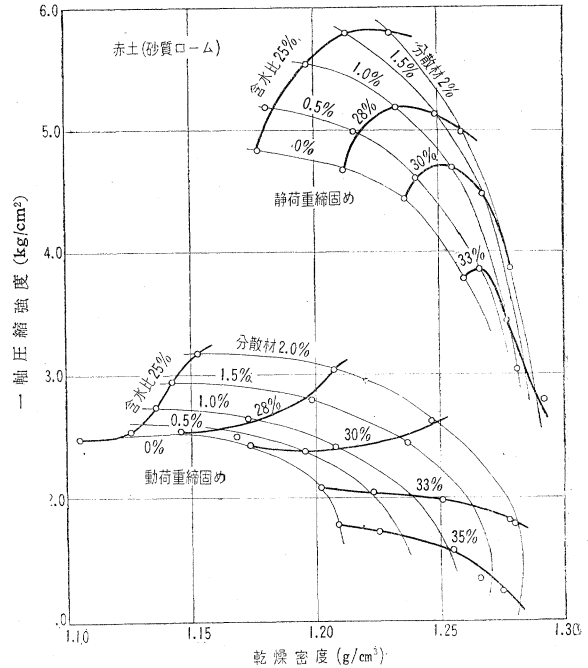
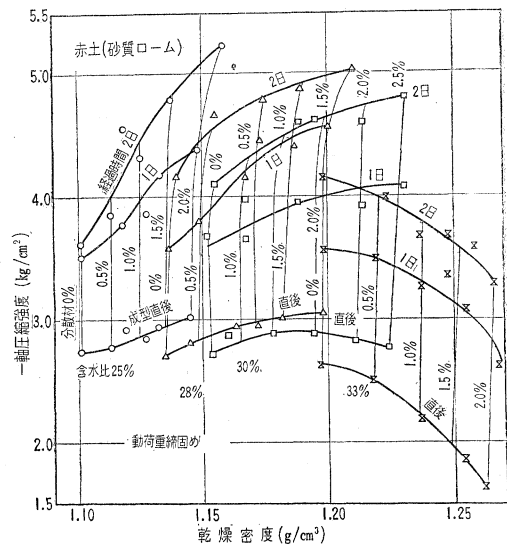


図-6(a) 動荷重締固めによる分散処理土のシキソトロピー的強度増加

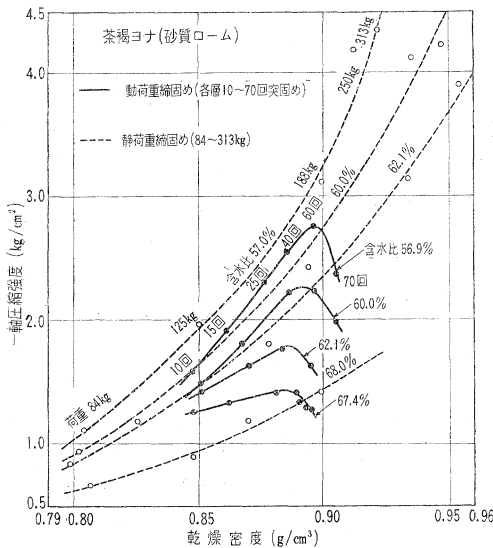


以下では分散材が少ないほど強度の増加量が大きく、しかも終極の強度に達する速さが遅いのが動荷重による締固めの場合と反対である。したがって静荷重締固めの場合には、分散材の添加がシキソトロピーによって過剰締固めによる強度の低下を補う効果は期待できない。

(4) 結果の一般性

以上の結果は非火山灰質の砂質ロームについて述べたものであるが、過剰締固めの生ずる限界含水比は土の種類によって相当に異なる⁹⁾。火山灰土の一例として図-7は、プレーンの茶褐ヨナに対する動荷重および静荷重による締固め乾燥強度と成型直後の一軸圧縮強度の関係を示したもので、過剰締固めに対する静荷重と動荷重締固めの影響の相違はいちじるしい。分散処理が過剰締固めを誘起しないものであることについては(2)で確かめてあるので、このような土に分散処理を応用すると、静的締固めの場合は含水比の全般にわたって、また動的締固めの場合は少なくとも限界含水比以下の含水比の領域で強度の改良が期待できると考える。

図-7 ヨナ系火山灰土の過剰締固めに対する締固め方法の影響



5. 団結処理土の密度と強度

前記砂質ロームに団結材を混合添加したときの、動荷重締固めによる乾燥密度と成型直後、1日および2日後の一軸圧縮強度の関係は図-8に示すとおりである。すなわち、団結処理の場合の含水比・密度曲線は、乾燥密度が低下するにもかかわらず、一軸圧縮強度は団結材の添加量の増大にともなって増大する傾向があり、しかも最大値がより高い含水比の方向に移動するのが特長である。したがって団結処理土は密度・強度の図を示すまでもなく過剰締固めによる強度低下の現象は生起しないことがわかる。このことと関連し、過剰の自然含水比を調整するうえにも効果的である。また締固め土を多孔性にし、しかもより高い強度をあたえることを目的とする場合に団結材の利用価値がある。シキソトロピー性の強度増大をとまうことはプレーン土および分散処理土の場合と同じである。

6. 結 言

粘着性土に 0.5~2% 程度の少量の分散材および団結材を添加混合して、土のコンシステンシーと締固め土の

図-6 (b) 静荷重締固めによる分散処理土のシキソトロピー的強度増加

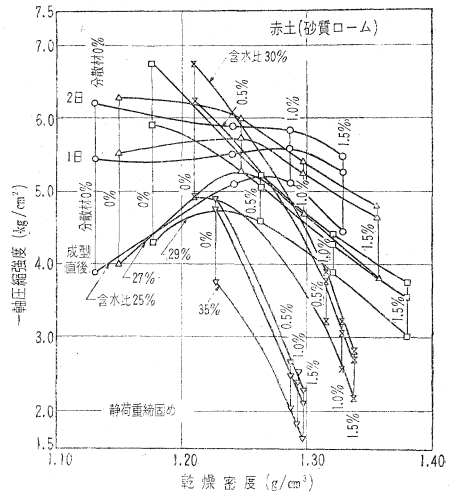
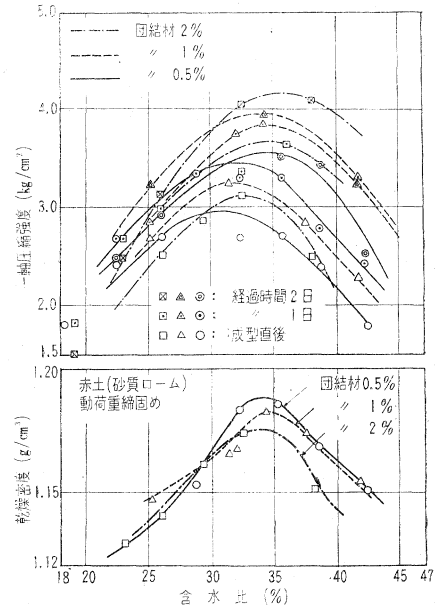


図-8 動荷重による締固め団結処理土の乾燥密度と一軸圧縮強度の関係



性質を改良する試みについて効果をしらべた結果、次のような結論が導かれた。

- (1) 少量の分散材および団結材の添加混合により、実用的に意義のある大ききでコンシステンシーを変え、種々の粘着性土の材料としてし利用度を高くすることができる。
- (2) 分散処理土にあっては締固め土の最大の水浸抵抗は最大乾燥密度においてえられ、最大の非水浸一軸圧縮強度は最適含水比よりある程度低い含水比の密度でえられるが、その条件のもとでは分散処理による水浸抵抗および一軸圧縮強度は十分に改良される。
- (3) 動的に締固める場合、分散処理土はシキソトロピー性の強度増大によって、土の過剰締固めに起因する強度の低下をかなり補ない、限界含水比を緩和する効果をともなう。
- (4) 団結処理土の締固め密度曲線では、乾燥密度が低する下にもかかわらず一軸圧縮強度はかえって増大し、しかも最大値が含水比の高い方向に移動するので、過剰締固めを防ぐとともに過剰含水比を調整する効果がある。またシキソトロピー性の強度増大は団結処理土においても存在する。

団結材の浸食防止等の応用についてはすでに周知のことであるが、異なった観点からしらべたそれらの特性は分散処理とともに土を安定処理するうえの一原理となるものと考ええる。

この研究は助手 石堂 稔、学生 野崎泰之の両君に実験の援助を受けたので、付記して深く謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 山内：分散材を応用する土の安定処理について、土木学会論文集，No. 65，昭.34.11
- 2) 山内：リグニン系材料による新しい土質安定処理について、土木学会論文集，No. 64，昭.34.7
- 3) 山内：SP系リグニン材料による土質安定のための新しい助材について、九大工学集報，Vol. 33，No. 1，昭.35.3
- 4) Foster C.R.：Reduction in Soil Strength with Increase in Density，Proc. A.S.C.E.，N. 228，July，1953. など
- 5) 河上房義：土工の締固め作業の当面する二、三の問題について、土木学会誌，Vol. 41，No. 11，昭.31.11 など
- 6) 竹下春見：締固め土の性質と設計 CBR，道路建設，No. 139，昭.34.8 など

(原稿受付：35.2.24)

土木学会論文集編集委員

委員長	○最上 武雄	委員	斎藤 晴太郎	委員	中山 謙治	委員	三野 栄三郎
委員	芦田 和男	委員	相良 正次	委員	永盛 峰雄	委員	森 麟
委員	井上 広胤	委員	鈴木 信太郎	委員	西原 巧	委員	山口 柏樹力
委員	伊藤 文人	委員	多谷 虎男	委員	○林 泰造	委員	柳 田 真事
委員	大久保 忠良	委員	高橋 国一郎	委員	平嶋 政治	委員	吉村 真隆
委員	木村 俊晃	委員	高橋 彦治	委員	藤井 敏夫	委員	渡 辺 威夫
委員	○君島 博次	委員	高橋 裕	委員	藤波 哲二	幹事	西 脇 威夫
委員	久野 悟郎	委員	竹 間 弘	委員	松原 健太郎		
委員	久保 慶三郎	委員	土 屋 雷蔵	委員	○丸 安隆和		○印は部会長
委員	佐藤 裕						

昭和 35 年 9 月 10 日 印刷
 昭和 35 年 9 月 15 日 発行

土木学会論文集第 70 号 定価 120 円 (〒 10 円)

編集兼発行者 東京都新宿区四谷一丁目 社団法人 土木学会 末森 猛雄
 印刷者 東京都港区赤坂溜池 5 株式会社 技報堂 大沼 正吉

発行所 社団法人 土 木 学 会 振替東京 16828 番
 東京都新宿郵便局区内 新宿区四谷一丁目 電話 (351) 代表 5138 番