

ON THE DEFORMATION OF GRANULAR MATERIAL

By Takeo Mogami*

Synopsis

In granular material, the deformation of a body is much more complicated than that in continuous media it inevitably accompanies the propagating process of compression.

After the propagation process is finished, the distribution of void in the body is nearly uniform and is considered to attain to a certain favourable state, so that in this stage of deformation microscopical study of deformation can be performed.

The hydrostatistical compression of the material was studied from this point of view and an approximate relationship between the compression and the pressure in case of confined compression of sand was obtained by applying the result of the study in the previous paper to the problem. This relationship is that already given by authors.

1. INTRODUCTION

When a non-rigid body is deformed, the deformation can be divided into two typical changes of configuration, which are volume change and the change in shape. The latter is considered to be due to shearing strain. This is measured by the change of angle between two directions which were perpendicular before the deformation. The deformation of the granular material is not so simple as it is in the continuous materials.

2. SHEARING DEFORMATION

In a continuous media, the shearing strain is clearly defined. A rectangular block ABCD in the material is deformed into a parallelogram block ABC'D' (Figure 1). The shearing strain τ is defined by

$$\tau = \frac{d}{h} \dots\dots\dots (1)$$

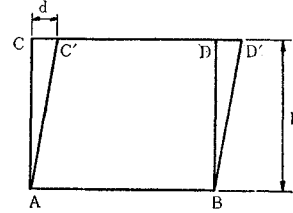


Fig. 1

The material which was in the block ABCD continues to be in the block ABC'D'.

For granular materials, the shearing strain cannot be defined so clearly. This will be explained by two examples.

(i) A square framework was formed by four bars, the bars were connected with each other by hinges (Figure 2). Steel balls were placed randomly in this framework which was on a horizontal glass plate. When forces were applied to A and C, this framework was deformed into a rhombic one, the arrangement of balls was changed by this deformation. (Figure 3 and Photograph 1). In the corners near the angles A and C, balls were compressed by the members of the framework and the assemblage of balls were compressed into a denser state, which is shown in the figure 3 as the region I. Balls located

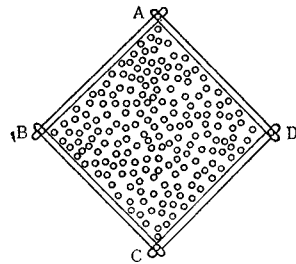


Fig. 2

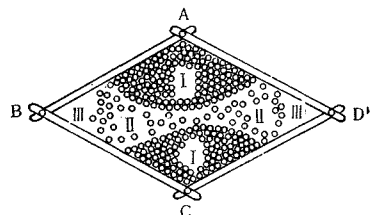


Fig. 3

* Professor, University of Tokyo

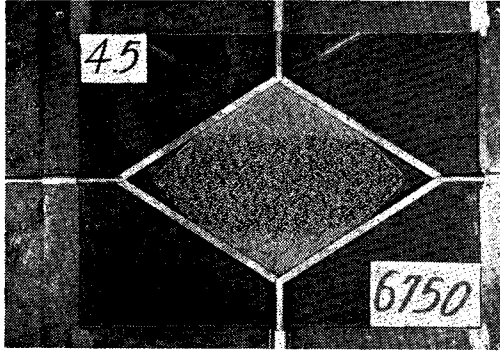


Photo. 1

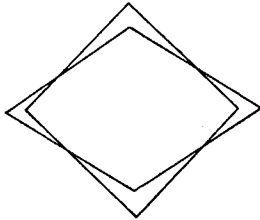


Fig. 4

in the middle part of the framework did not move so much, so that the change of their configuration was less (Region II). On the other hand, two empty spaces, the region III, appeared.

If a square solid plate was deformed in similar way, this plate would change its shape as shown in the figure 4. Such deformation would be produced by the action of pure shear as described in usual text book of strength of materials. This kind of deformation can take place because the binding force between parts of the solid material is large enough not to produce separation of its parts.

Contrary to this, there exists no binding force in granular material, so that the above explained kind of deformation occurred, which is much more complicated than in the solid material. In case of granular material the phenomenon was progressive, in another word, propagating. When the density of granular material in the framework is large enough, the propagation would be completed very rapidly, so that the phenomenon approaches to that in solid material, however, because of the dilatancy of granular material, such shearing deformation cannot be taken place if the volumetric expansion is not allowed.

(ii) Four bars are connected by hinges to

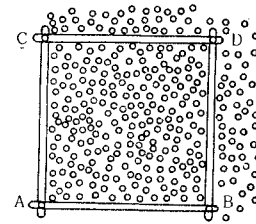


Fig. 5

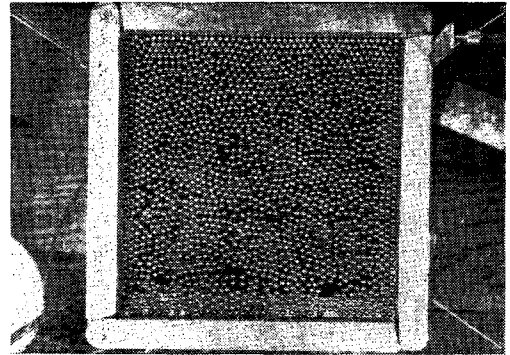


Photo. 2

form a square framework as shown in the figure 5 or the photograph 2. This framework was placed on a glass plate which was inclined slightly. Two members AB and AC were situated just on this glass plate so that they could prevent the passage of particles, whilst the members CD and BD had enough clearance above the glass plate to allow free passage of particles. Steel balls were placed randomly in and out of the framework as shown in the figure 5. The inclination of the glass plate was so small that the balls do not roll or slip down to have compact packing.

When the framework was deformed into the position shown in the figure 6, particles which were situated near the wall AC, that is, in the region I were pushed in and their packing became more compact, whilst particles which were further from the wall, that is, in the region II, remained almost unmoved when the initial packing of particles was not so dense.

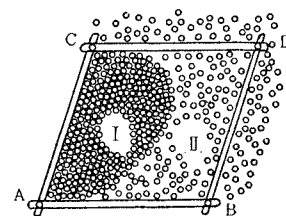


Fig. 6

When balls were initially placed rather densely, all particles move, but their motion was initiated from particles near the member AC and it propagated towards the member BD. Particles along CD and BD came in or out of the framework so that particles which were contained initially in the framework did not keep this situation. Hence it can be said that the shearing deformation in a granular material is very much different from that in a continuous media.

3. VOLUMETRIC CHANGE OF A GRANULAR MATERIAL

The volumetric deformation of a granular material is simpler than the shearing deformation, however, it is also not so simple than that of continuous media.

As explained in the previous paragraph, the compression phenomenon propagates from the place of application of force. Such propagation phenomenon exists also in continuous media, however, in almost all solid materials the propagation velocity is enough large, so that the compression of the body can be considered as such that it occurred at the instant when the force is applied to the body. In granular material, the propagation velocity is not always large enough, hence in many cases which are important, the existence of this phenomenon should be remembered. For example, when a compression test on a sample is performed, this test can be carried out in three ways (Figure 7), these are

- a) the end AB is fixed and the end CD is pushed
- b) the end CD is fixed and the end AB is pushed
- c) both ends AB and CD are pushed.

As described in usual text book of the strength of materials, if the tests are made on

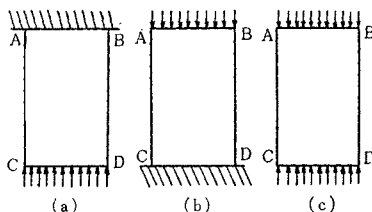


Fig. 7

solid materials, for instance, steel or concrete, the mechanical behaviour is same for three ways of testing. However, for granular materials, of course the sample should be covered with rubber membrane or so, things do not occur in similar way. Initially the material which is located near the moving end would become denser and this compression will propagate towards the opposite end.

The propagation velocity depends largely on the density of the material, so that when particles are closely packed the compression of the granular material can be considered in the similar way to that of the solid body. The propagation of compressed part is resulted from the displacement and rolling of individual particles. The motion of each particle is very much complicated, so that the tracing of the motion is very difficult. However, it can generally be said that the irregularities in positions of particles would gradually be smoothed out by the actions of their neighbouring particles. Hence, in the compressed region, the distribution of particles approaches to some favourable one for this assemblage of particles as the compression goes on.

In case when an assemblage of steel balls in a flat horizontal box was compressed by a wall, void ratios at several places in the box were measured and their distribution was observed. This was done by performing the same experiment many times, over fifty times.

The result is shown in the figure 8, before the compression begins, the frequency curve has a maximum at a rather high void ratio, but when the compression began, one more maximum appears at lower void ratio and its height grows as the compression progresses. The sharpness of the frequency curve which appeared after the compression was larger.

It shows that the distribution of void ratio is converting to a uniform one in the course of compression.

As it is naturally seen that the elasticity of each particle is an important factor in changing its volume when the particles are compactly filled, but it might be imagined that in usual

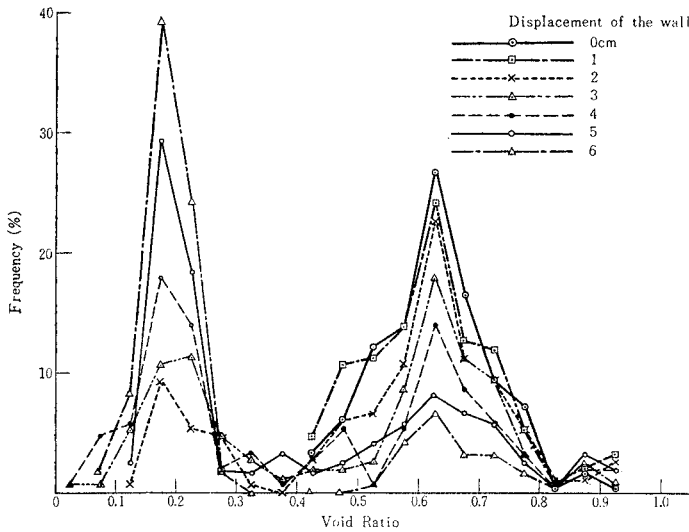


Fig. 8

compact state, there remains more or less room for the possibility of change of volume which has little concern with the elasticity of particles.

4. MICROSCOPIC CONSIDERATIONS OF THE DEFORMATION OF GRANULAR MATERIALS

In the above paragraphs, the complicated character of the deformation of granular materials was explained and it was shown that such complicated character comes from their granular structures. The material is composed of particles which can move much easier than the elementary portion of the continuous material, but they have not such freedom as the gas molecules have. This circumstance would produce the complexity of the character of the granular material. To understand the properties of granular material, it is necessary to consider the problem from microscopical point of view. In the previous paper, an effort of such approach to the problem was shown by the present author¹⁾, which will be outlined here. In the mechanics of granular material, the void ratio and the deviation of void ratio are two important factors, in another word, the average void ratio of every part of the material and the distribution of the void ratio in the material are two controlling factors of the mechanical behaviour of the material. When a force is applied to the material, the force

would change not only its void ratio but also the distribution of void ratio. The configuration of particles at some instant is one of all possible configurations so that the state would be specified by the probability of the arrangement of particles and as it was noticed in the former paragraph, the configuration of particles, after the propagation of compression finished, would be such that the probability of the state be stationary, the favourable state. After some calculations, it could be shown that this probability is a function of the average void ratio

and the deviation of void ratio as it had been expected. The logarithm of this probability was considered to be a quantity similar to the entropy in the theory of thermodynamics. By such considerations, with some special condition which should be satisfied at failure, and was introduced from experimental evidence, several formulae which connect the internal angle of friction and the void ratio were derived²⁾. The validity of these formulae was examined by experimental data from several sources, the results of which were satisfactorily.

5. A THEORY OF VOLUME CHANGE OF GRANULAR MATERIAL, AFTER THE PROPAGATION PHENOMENON IN COMPRESSION WAS FINISHED

During the period in which the propagation phenomenon of compression continues, the distribution of void in the material is not uniform, that is, in compression region the void ratio is smaller and its distribution is nearly uniform, but in the uncompressed region the void ratio is larger and its distribution is rather random. But near the end of the propagation period, the distribution of void ratio in the whole body approaches nearly uniform, so that the deviation of void ratio would be very small. The configuration of particles at this stage would be such that the probability of the state be stationary. This probability was calculated in the previous paper¹⁾, that is,

$$\log W = A - eN \log e + N(1+e) \log(1+e) - \frac{N}{2} \frac{\delta}{e(1+e)} \dots\dots\dots (19)^*$$

,where

- W: the probability of the state
- A: a constant which does not depend on e and δ
- N: total number of particles
- e : average void ratio
- δ : the deviation of void ratio.

The asterisk mark on the number of the formula shows that this number is given in the first paper.

If we denote the three principal stresses by σ_1 , σ_2 and σ_3 , we can write

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= p - \tau_2 + \tau_3 \\ \sigma_2 &= p - \tau_3 + \tau_1 \\ \sigma_3 &= p - \tau_1 + \tau_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

,where

$$p = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

$$\tau_1 = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}, \quad \tau_2 = \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2}, \quad \tau_3 = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}.$$

We denote the increments of three principal strains by ϵ_1 , ϵ_2 and ϵ_3 and we write

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_2 - \epsilon_3 &= -\Delta\gamma_1 \\ \epsilon_3 - \epsilon_1 &= -\Delta\gamma_2 \\ \epsilon_1 - \epsilon_2 &= -\Delta\gamma_3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

When we consider the case of axial symmetry, we assume the principal stress σ_1 is in the direction of symmetry axis, so that $\sigma_2 = \sigma_3$, and we can take $\epsilon_2 = \epsilon_3$.

Then we have

$$\left. \begin{aligned} \tau_1 &= 0, \quad \tau_2 = -\tau_3 \\ \Delta\gamma_1 &= 0, \quad \Delta\gamma_2 = -\Delta\gamma_3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

As described in the previous paper, we can get the three principal stresses as

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= K(1+e+k_2) \log w \\ \sigma_2 &= \sigma_3 = K(1+e-2k_2) \log w \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

,where

$$w = \frac{1+e}{e} \quad \text{and} \quad K = a \text{ constant,}$$

$k_2 = a$ coefficient.

Now we consider the hydrostatic compression case making $\sigma_1 = \sigma_3$. By the equation (5) we can derive that

$$k_2 = 0. \dots\dots\dots (6)$$

This coefficient k_2 is connected with the deviation of void ratio and shearing strain, in the

general case, by the equation

$$\delta = 2(k_2 r_2 + k_3 r_3) e(1+e) \log \frac{1+e}{e}, \dots (7)$$

Hence by the equations (6) and (7) it can be derived that

$$\delta = 0.$$

This equation confirms the expectation which was stated before. Finally the hydrostatic pressure is expressed by the equation

$$p = \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = K(1+e) \log \frac{1+e}{e}. \quad (8)$$

When various values are inserted in the right hand side of the formula, the corresponding values of σ_1/K are calculated. If we plot the σ_1/K against e we have the figure 9.

If we differentiate the equation (8), we have

$$\frac{1}{K} \frac{dp}{de} = \log \frac{1+e}{e} - \frac{1}{e} = \frac{p}{K(1+e)} - \frac{1}{e}$$

$$\therefore de = \frac{dp}{\frac{p}{1+e} - \frac{K}{e}}. \dots\dots\dots (9)$$

If the state of stress in confined compression of sand (Figure 10) can be assumed to be approximately same as that in hydrostatic compression³⁾, the displacement s of the cover-plate will be obtained. The volume change

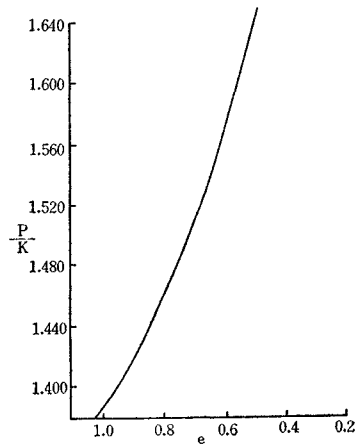


Fig. 9

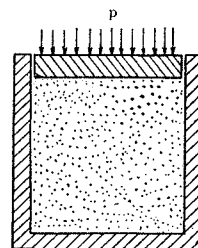


Fig. 10

comes from the decrease in void ratio, hence we have

$$Ads = \frac{de}{1+e} \dots\dots\dots(10)$$

,where

ds : increment of the displacement of the coverplate

A : the sectional area of the coverplate.

Inserting the equation (9) into the equation (10) we have,

$$ds = \frac{1}{A} \frac{dp}{p - K \frac{1+e}{e}} \dots\dots\dots(11)$$

If the range of change of void ratio is not so large, $(1+e)/e$ is almost constant and equals to $(1+e_0)/e_0$, in which e_0 is the initial void ratio. Putting

$$K \frac{1+e_0}{e_0} = B,$$

$$ds = \frac{1}{A} \frac{dp}{p - B} \dots\dots\dots(12)$$

we have

$$s = \frac{1}{A} [\log(p - B) + \log C].$$

If we denote the initial pressure by p_0 , that is, the pressure which should be applied to the sample to get nearly uniform distribution of void in sample, and if we measure the displacement of the coverplate from this instant, we have,

$$(p_0 - B)C = 1.$$

Then we get

$$s = \frac{1}{A} \log \frac{p - B}{p_0 - B} \dots\dots\dots(13)$$

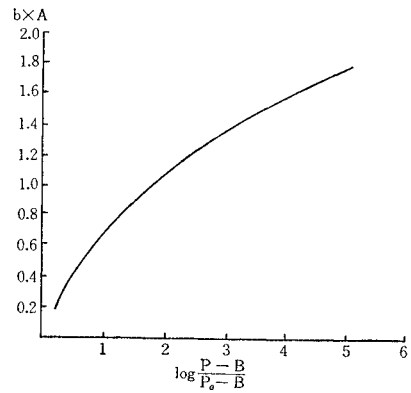


Fig. 11

The plotting of this relationship is given in the figure 11.

This type of relationship has already been proposed and examined by experiments, for example, it is the equation (2) given on page 399 of L. Bendel's *Ingenieurgeologie* Vol. 1⁴⁾.

Reference

- 1) Mogami, T.: "A Statistical Approach to the Mechanics of Granular Materials", *Soil and Foundation*, Vol. V, No. 2, March 1965. or "A Statistical Theory of Mechanics of Granular Materials" *J. Faculty of Eng. Univ. of Tokyo (B)*, Vol. XXVIII, No. 2, 1965. The sign of the right hand term of the equation(19)* was wrong in the first paper, it was corrected in succeeding papers.
- 2) Mogami, T.: "Angle of Internal Friction and a Simple Transition Phenomenon of Granular Material", *Trans. of JSCE*, No.128 April (1966)
- 3) This is not true, because the pressure on side wall is ascertained by authors not to be equal to that applied on cover plate. Therefore the discussion given here is of course a rough one.
- 4) Bendel, L.: *Ingenieurgeologie*, Springer, Wien, 1949.

(Received Dec. 2, 1965)

正 誤 表

論文集第 121 号 (昭和 40 年 9 月発行) に誤りがありましたので, 下記のように訂正致します。

ページ	箇 所	誤	正
4	式 (16)	$w_{r,2} = w_{r,1}$	$w_{r,2} = w_{r+1,1}$
5	式 (36)	$\frac{1}{20} a_r^{(3)} \beta_r^2$	$\frac{1}{20} a_r^{(4)} \beta_r^2$
5	式 (39)	$V^{ch} = 4 \left\{ \frac{1}{2} G J_0 \text{tr}(C_2) + \frac{1}{6} \frac{E(I_0 R^2 + C_{BT0})}{\lambda^2} \text{tr}(C_1) \right\} \frac{\phi^2}{\lambda}$	$V^{ch} = 4 \left\{ \frac{1}{2} G J_0 \text{tr}(C_1) + \frac{1}{2} \frac{E(I_0 R^2 + C_{BT0})}{\lambda^2} \text{tr}(C_2) \right\} \frac{\phi^2}{\lambda}$
5	式 (41)	ただし, $C_1 = \text{tr}(C_1)$ $C_2 = \text{tr}(C_2)$	ただし, $C_1 = \frac{\text{tr}(C_1)}{k_n}$ $C_2 = \frac{\text{tr}(C_2)}{k_n}$

昭 和 40 年 度 土 木 学 会 論 文 集 編 集 委 員

委員 長	村 上 永 一	副委員 長	栗 津 清 藏	委 員	津 野 和 夫	委 員	長 谷 川 錦 一
委 員	阿 部 英 彦	委 員	大 月 郎	委 員	堤 東 一 郎	委 員	堀 孝 嘉
・	青 山 康 夫	・	神 田 直 行	・	榑 山 一 啓	・	松 本 原 上 博
・	秋 山 藤 喜	・	角 工 藤 和 一	・	遠 山 尾 義 靖	・	宮 村 森 都
・	伊 藤 研 而	・	小 佐 木 道 正	・	永 井 倉 正	・	村 上 本 淳
・	石 板 倉 康 平	・	佐 々 武 昌 利	・	永 倉 一 治	・	都 持 永 充
・	池 田 康 彦	・	白 口 石 成 慶	・	南 部 特 紀 昭	・	山 口 村 利
・	岩 井 一 芳	・	沢 白 石 木 一	・	中 村 貢 紀 昭	・	山 口 村 利
・	尾 坂 仲 章	・	曾 根 学	・	西 野 文 雄	・	山 口 村 利
・	尾 橋 昭 光						
委員 兼 幹 事	西 脇 威 夫						

昭和 41 年 5 月 15 日 印刷
昭和 41 年 5 月 20 日 発行

土木学会論文集 第 129 号

定価 200 円 (〒 20 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 羽 田 巖
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

編著者名	論文名	判型	ページ数	定価	送料
小西一郎	論文集 9 号 一般剛節構造物の解法およびその極限状態付近における性状について	B 5	10	20	10
猪股俊司	論文集 17 号 プレストレストコンクリート桁に関する研究	B 5	90	250	30
高野俊介	論文集 26 号 打込み温度がマッサコンクリートの強度におよぼす影響の研究	B 5	56	180	30
仁杉巖	論文集 27 号 支間 30 m のプレストレストコンクリート鉄道橋（信楽線第一大戸川橋梁）の設計，施工およびこれに関連して行った実験研究の報告	B 5	56	160	20
伊丹康夫	論文集 37 号 ブルドーザによる土工の設計に関する研究	B 5	50	120	30
猪股俊司	論文集 48 号 プレストレスト コンクリート スラブ式 2 ヒンジ ラーメン橋の設計法に関する研究	B 5	68	200	30
岩佐義朗	論文集 59 号(別冊 3-1) 巾の漸変する水路における水流の遷移現象と境界特性との関連に関する理論的研究	B 5	32	150	20
奥田秋夫	論文集 59 号(別冊 3-2) コンクリート舗装の施工合理化に関する研究	B 5	54	250	30
大久保・西原相馬	論文集 61 号(別冊 3-1) 発電用河川流量の研究	B 5	32	150	20
太田誠一郎	論文集 61 号(別冊 3-3) 骨材の表面積と新面積法による構築混合物の検討とその応用に関する研究	B 5	48	220	30
三村・鈴木上野・細木谷	論文集 65 号(別冊 3-2) ロッドミルによる製砂方法に関する研究	B 5	15	80	20
永井莊七郎	論文集 65 号(別冊 3-3) 防波堤に働く碎波の圧力に関する研究	B 5	38	160	20
国分・河原・太齋	論文集 68 号(別冊 3-2) 各種フライアッシュの共通試験報告	B 5	32	100	20
井田至春	論文集 69 号(別冊 3-2) 広巾員開水路の定常流—断面形の影響について—	B 5	18	100	20
室田明	論文集 70 号(別冊 1-1) 開水路分水工の研究	B 5	34	200	20
嶋・萩原	論文集 71 号(別冊 4-1) On Water-Hammer Pressure due to Periodic Opening and Closure of Valve (英文)	B 5	12	70	20
国分ほか 12 名	論文集 71 号(別冊 4-3) フライアッシュ・シンポジウム提出論文集録	B 5	66	230	30
森麟	論文集 71 号(別冊 4-4) 舗装後の路床状態の変化についての研究とそれにもとづく CBR 試験法の改善に対する一提案	B 5	16	100	20
島田静雄	論文集 72 号(別冊 3-1) 弾性針金の変形と応力	B 5	16	100	20
山本稔	論文集 72 号(別冊 3-3) 不完全合成 T 型桁橋の曲げ理論とその応用	B 5	24	150	20

工事報告 黒部川第四発電所

関西電力株式会社 編集
社団法人土木学会 発行

第3節 工事の経過 9

写真 1.3.2 兼倉谷流石送排管状況



写真 1.3.3 橋入谷付送排管状況



る東谷取目道路の掘削および地下発電所の各作業坑の掘削などの準備工事、ならびに地下発電所の仮設位置を定めるための地質調査などに着手した。なかでも、黒部鉄道に近く上部軌道の終点橋入谷から地下発電所への連絡となる鉄道トンネルおよび、予り路と兼用する放水路の掘削が先決問題であって、着工後これに主力を注いだ。

また発電所地点から約450m高所にある兼倉谷地点から黒部トンネル下口（貫口切り開始は9月7日）の掘削にも着手した。その高差があまりにも大きく、道はけわしいので、とくに資材輸送は難作業であったが、資材輸送用の4.5tトラムウェイが同年10月に開通し、降雪にそなわってその年の12月に黒部トンネルの本底に取りついた。

写真 1.3.4 融雪期切羽からの雪う水および流石の流出状況-32.7.16-



(4) 冬 営 施 工

当建設工事においては、1年の1/3を占める降雪期をむかひに過しては不経済となるのみならず、また工事工程上からも冬営工事の必要があった。そして積雪は5mを越え、気温は-20℃に達する悪条件下においても、トンネル工事は施工を続けた。最初の冬は、ダム地点・発電トンネル・発電所・黒部トンネルなどの全工事区域において冬営施工を行なった。その後も各方面で冬営施工は続いたが、とくに発電所方面では、外野から掘削されたまま多量の積雪下に孤立して、最盛期（昭和39年度）には1600人（発電所方面1000人、在野谷方面600人）に達する一大集

団が越冬した。

この冬営については、労働者ならびに労働基準監督署の指導によって冬営のための穴居生活は、その開始の快適化と閉居の管理に十分な対策をほどこし、また食糧輸送のために、ヘリコプタを常駐させるなど万全の処置をとった。なお、その翌年からは鉄筋コンクリート貯倉の完成によって地下貯倉の生活はなくなった。

3.3 昭和32年の工事状況

初年度の越冬は、作業坑やトンネル工事の進めかたに大いに貢献し、よくその工程を確保することができた。とくに重要な輸送ルートである因電2号トンネル（延長3527m）の掘削は、春まで快適な全断面掘削を続け

黒四の歴史は古く、大正時代から水力開発の先駆者たちによって調査が続けられてきたが、着工の決意が表明されたのは昭和30年である。丸山、佐久間などをはじめとする大規模水力地点は機械化施工の採用によって、従来の開発方式を大きく変換しつつあったときである。

このような水力開発の技術革新を背景にして、黒四はスタートを切ったのであるが、186mの高さの大アーチダムをはじめとする画期的な施設を北アルプスの奥深くに建設することは前例のない大工事であった。

数多くの特殊研究から生みだされた最新の技術、建設機械、施工方法が本書にはもれなく記述されているのでぜひご一読下さい。

<御申込み次カATALOG贈呈>

目 次

第1章 序 論

黒部川電源開発の歴史/計画と設備の概要/工事の経過/諸官庁の許認可事項

第2章 計 画

発電計画/気象と水文/調査と測量/地質

第3章 設 計

ダム/ダムの放流設備/ダム コンクリートの配合/ダムの測定/取水口・圧力トンネル・支水路/サージタンク/水圧鉄管/発電所・変電所・開閉所/放水路/電気機器/送電線

第4章 施 工 設 備

輸送ルート/ダム/発電所/トンネル/工所用電力と通信設備/仮建物

第5章 施 工

工事請負/ダム施工の概要/ダムの仮排水路と仮締切/ダムの測量/ダム基礎の掘削/ダム基礎のグラウチングと排水設備/ダム基礎の処理/ダム用骨材の製造と輸送/ダム用セメントの輸送と貯蔵/ダム コンクリートの打込み/ダムの埋設物、付属設備、型わく/ダム コンクリートの品質管理/ダムの継目グラウチング/輸送ルート/取水口・圧力トンネル・支水路/トンネルのグラウチング/サージタンク・水圧管路・イングライン・水圧鉄管・放水路/発電所・変電所・開閉所/電気機器のすえつけ/工事中の災害

第6章 人 員

機構と人員/請負者稼働人員

第7章 関 連 工 事 そ の 他

関連工事/営林署関係

第8章 特 殊 研 究

東京大学生産技術研究所におけるダムの模型実験/ISMESにおけるダムの模型実験/ダム基礎岩盤の現地岩盤試験/水室方式によるダム基礎岩盤の弾性係数の測定/光弾性実験によるダム基礎岩盤の検討/アーチダム基礎岩盤の安全性に関する実験的研究/アーチダムの基礎岩盤内の浸透流に関する実験的研究/ダム基礎グラウチングの材料と工法に関する実験/ケミカルグラウチングの実験/棒小屋沢溪流取水空気分離槽の水理模型実験/圧力トンネルの充水の実験/放水路の水理模型実験/発電所・変電所・開閉所の配置に関する光弾性実験/発電機バレルの実験

<<500部の限定出版>>

体 裁：B5判 1360 ページ 付図 36 枚

定 価：12500 円（会員特価 9800 円）

送 料：300 円

日本の土木技術
100年の発展のあゆみ

410

日本の土木技術 100年の発展のあゆみ

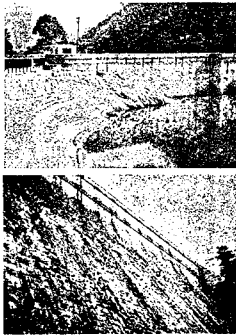
ートダムの完成は重要な力強い契機は、新しい日本の開拓に大きく貢献した。当時の新選組の士が土木技術者の心をこらえたであろうことは想像にたかない。しかし、明治の初期においてはセメントはすべて外国より輸入されていたため最も少なくなかった。コンクリートはむしろ洋行、船舶、トンネルの築立、製鉄などの一部に使用されていた程度で、ダムのような大規模のコンクリートを必要とする構造物の建設が可能となるには、同種セメントが大量に出まらざるを得なければならなかった。

わが国のセメントの歴史は1871年(明治4年) 藤川に官営工場が設立されたときに始まる。さらに1881年(明治14年)には小野田セメントが東京において本格的なセメント製造を開始して以来次第に製造技術が進歩し、これにつれて品質も改良され、価格も安くなったが、一方わが国の産業の急速な発展は資本主義の排他的性と都市への人口集中をもたらし、大規模なダムをつくらざるを得ない状況を生じ、ここにコンクリートダム建設の技術的、経済的基礎がもたらされた。

4.3 最初のコンクリートダム

わが国で最初につくられたコンクリートダムは布引ダムである。このダムは別名

別名—布引ダム
(わが国初のコンクリートダム、高さ33.3m、コンクリートダム、完成1900年)



高橋技術の進歩

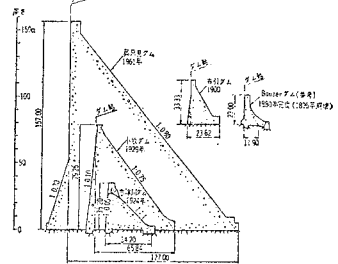
411

本橋ダムとも呼ばれ、神戸市の上下水道として生田川水系生田川に建設されたもので、1900年(明治33年)に完成した高さ33.3m、堤頂長110.3mの重力式ダムである(写真—5.10)。

布引ダム工事の少し以前に、ヨーロッパにおいては有名なブーゼイダム(Bouzey)の歴史が記されている。この歴史は、それがきっかけとなって、ダムの設計方法に大きな変革をもたらしたため技術史上極めて重要なことである。

ブーゼイダムは、フランス北部ライン河成河川の源流に水を供給するために建設された高さ約23m、長さ約510mの重力式ダムで、コンクリートダムとしても上下表面は覆わくがわりに石積みとし、内部は鉄骨をならべその空け方にモルタルまたはコンクリートをつめて施工する当時のいわゆるメゾンノーダム(Masonry)の典型的なものである。ブーゼイダムの工事は1878年(明治11年)に始まり1880年(明治13年)

図—5.10 わが国の重力式ダム橋脚の断面



土木とは何か……、そして土木工学のなすべき仕事は何だろうか……、この間に答えてくれるのが本書です。日本の今日における輝やかな土木技術発展の蔭には、明治初期から約100年にわたる多くの先輩方の血のにじむような努力があります。本書では従来あまり見られなかった多くの先輩方が築いてきた日本の土木技術史の領域に目を向け、現在を力強く支えている数々の貴重な業績を新しい体系で追った学会創立50周年記念出版にふさわしいきわめてユニークな書籍です。本書を一読することによって問題の所在が認識でき、その果たすべき役割りが理解できると思われまますので、これから土木工学の真髄をきわめようとする学生諸君および若い技術者、また建設会社で働いておられる技術系以外の多くの人々のご一読をおすすめいたします。

内 容：

- I. 土木技術と国土の開発／1. わが国の近代化と土木技術／2. 国土計画と地方計画
- II. 水の利用と水との戦い／1. 水資源開発／2. 洪水との戦い
- III. 交通路の整備／1. 交通政策／2. 国有鉄道／3. 民営鉄道／4. 索道／5. 鋼索鉄道／6. モノレール／7. 道路／8. 港湾／9. 空港
- IV. 都市の建設／1. 都市計画／2. 都市交通／3. 衛生工学
- V. 材料の進歩と構造技術の進展／1. 鋼構造／2. コンクリート構造
- VI. 基礎技術の進歩／1. 測量／2. 土質基礎／3. トンネル／4. ダム

付：日本の土木技術年表

体 裁：A5判 477 ページ 定 価：1,200 円(送料 150 円)

注：学校・会社等でとりまとめてご注文の場合はご相談下さい。

連絡先：土木学会 電 東京 351—3130

MARUI

短時間 厚さ及び構造物の弾性係数が判定 できる

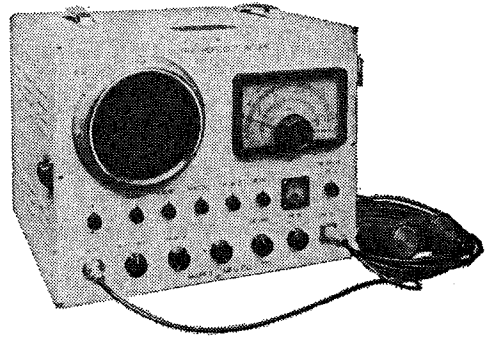
- ① 時間の節約になります (時代に即応)
- ② 正確な判断の参考資料となります
- ③ 無破壊で常に測定出来ます

用 途

- 型枠取除き判定 (経済助力となる)
- ダム・コンクリート等の品質管理
- 道路隧道の厚さ及びボイドの判定
- コンクリートの経年変化・強度の推定等

営業品目

セメント・コンクリート・土質・アスファルト
水理各試験機・無破壊試験器・計量器・各種材料試験機



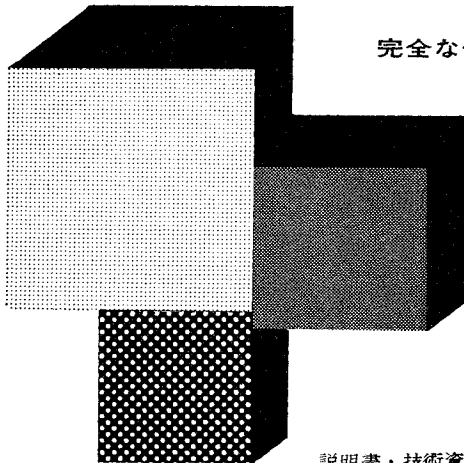
超音波反射測定器



株式会社 丸井製作所

本社 大阪市城東区蒲生町4-1-10番地
電話 大阪 931-3541番(代表)
東京出張所 東京都港区西新橋3-9-5(吉田ビル)
電話 東京 431-7563番

最も良い最も経済的なコンクリートを造る・・・



完全な保証——ポゾリスは、品質の絶対保証、現場に即
応したテクニカルサービス、絶ゆまざる研
究を続けております。

ポゾリスの御使用により所要の強度とワ
ーカビリティが得られますから工事が仕様
書通り行われていることを保証されます。

ポゾリス物産株式会社

本社 東京都港区赤坂丹後町10 電話 東京 582-8811(代)
東京営業所 東京都港区赤坂丹後町10 電話 東京 582-8811(代)
大阪営業所 大阪市東区北浜3-7(広銀ビル) 電話 大阪 202-3294(代)
仙台営業所 仙台市東二番丁6-8(富士ビル) 電話 仙台 23-1631
名古屋営業所 名古屋市中区新栄町1-6(朝日生命館) 電話 名古屋 241-2285
出張所 札幌・二本木・高岡・福岡・宇ヶ崎

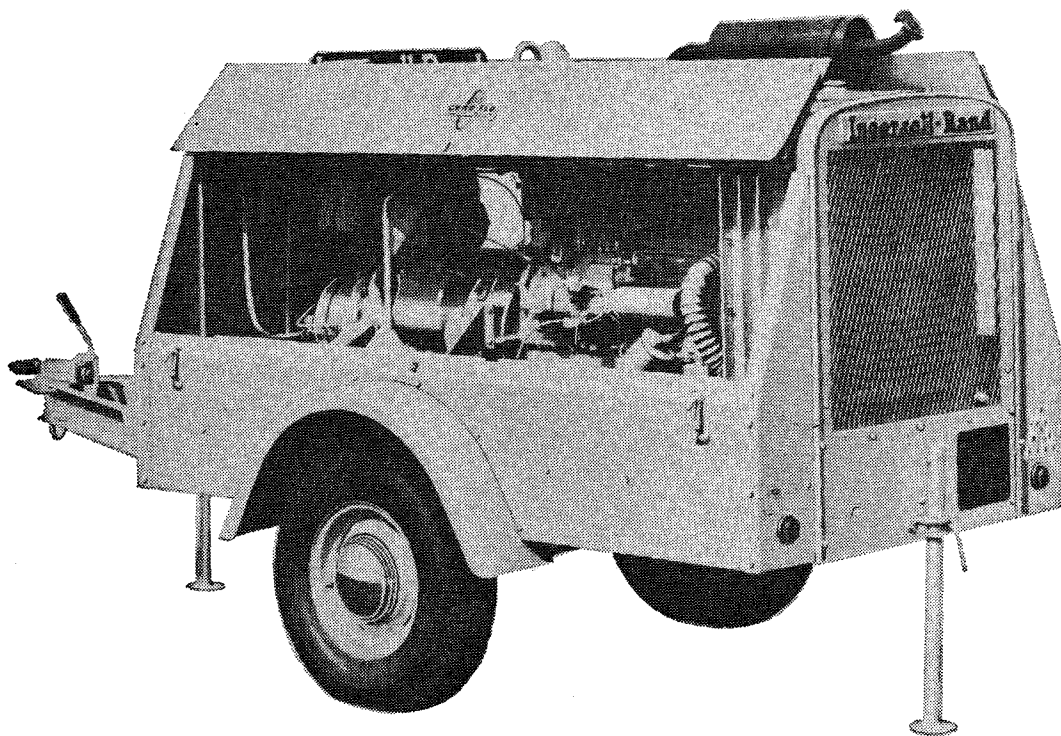
説明書・技術資料
をご請求ください

日曹マスタービルダーズ株式会社



インガソール・ランドのポータブルコンプレッサー

昭和三十七年五月二十八日第三種郵便物認可
昭和四十一年五月二十五日
行刷(毎月一回)
(二十日発行)



ジャイロフロー(回転式)とスパイロフロー(スクリュー式)どちらも伝統ある **IR** のマークが高性能を保証します。

- 操作、保守は極わめて簡単
- 効果的な噴油冷却方式
- 無段階容量調節装置
- 運転は平静で、脈動、振動は殆んどありません
- 各種容量・型式(2輪・4輪付)のものが一貫生産されているので、用途に最適のものが扱えます。アフターサービスも完璧です



世界最大のコンプレッサー、ポンプ、ツール総合メーカー

Ingersoll-Rand

日本インガソール・ランド株式会社

東京都港区青山北町4丁目21番地(西本ビル) Tel: (403) 6571-5
大阪支店 大阪市西区京町堀1丁目156(中谷ビル) Tel: 大阪 (443) 4750-4795
Cable: INGERSOLL TOKYO Telex: TK 2929 INGERSOL

主要営業品目

往復動コンプレッサー、ポータブルコンプレッサー、送風機および遠心コンプレッサー、軸流回転式コンプレッサー、穿岩機類、空気・電動各種工具とホイスト、往復動ポンプ他各種ポンプ類、蒸気及び水カタービン、ガス・エキスパンダー、蒸気復水器、真空装置、特殊冷凍機器、各種鉱山用機械、バルブ・製紙用機械装置、各種ガスエンジン、特殊用ディーゼルと蒸気エンジン

■ カタログ御請求下さい。