

雲仙・普賢岳土石流堆積物の有効利用に向けた水浸養生固化実験

後藤 恵之輔*・山中 稔*
松井 秀生**・川崎 慎也***Submerged Hardening Test for Utilization of Debris Flow
Deposits Originated at Mt. Unzen-Fugendake

by

Keinosuke GOTOH*, Minoru YAMANAKA*, Hideki MATSUI**
and Shinya KAWASAKI***

Volcanic activity accompanied with Pyroclastic flow has caused serious damages at the foot of Mt. Unzen-Fugendake, Nagasaki Prefecture, Japan. There are still a huge amount of debris flow accumulated along the Mizunashi River. As of now, this eruption is lulled. However the debris flow is expected to continue accumulating along this river in future.

In this paper, in order to use these immense amount of debris flow deposits, the authors carried out series of unconfined compression tests on specimens treatment with CAS-Hardening and Cement. After the treatment all specimens were submerged in two different kinds of water to be cured. Prior to testing the specimens, pH-values were measured.

As a result, the following were obtained;

- 1) the relation between the amount of CAS(or Cement) and strength q_u ,
- 2) influences of curing-time on strength q_u ,
- 3) changes of pH-value due to the use of CAS and Cement, and
- 4) changes of q_u with the change of curing water.

From these results, it was concluded that the debris-flow deposits at Mizunashi River can be utilized as materials for fish house and submerged construction.

1. はじめに

雲仙・普賢岳からの火砕流の頻発により、その山麓には火山性堆積物が不安定な状態で堆積している。1991年5月の溶岩ドーム出現以来の溶岩の総噴出量は約二億立方メートルに達し¹⁾、普賢岳を源流とする流域の水無川、中尾川などでの流出土砂量は1993年1年間だけで三百数十万立方メートルにのぼり²⁾、流域に

多大な被害を及ぼしている。

現在、噴火活動はほぼ停止し、火山活動は収束の傾向を示している。しかし、まとまった降雨時には、山麓に堆積した火山性堆積物が土石流を発生させており、今後も継続して土石流の発生が懸念されている。

流域に堆積した土石流堆積物は、現在、海岸埋め立て用土砂に活用されており、また、土石流常襲地帯の

平成7年4月28日受理

*社会開発工学科 (Department of Civil Engineering)

**土地家屋調査士松井事務所 (Land and House Survey, Matsui Office)

***(株)ダイヤコンサルタンツ (DIA Consultants Co., Ltd.)

嵩上げ用土砂への利用が検討されている。火山性堆積物の利用方法として、その他にも屋根瓦や耐火ブロック材料への活用が実施されつつあるが、堆積物の使用量としては少ない。

今後の防災対策や復旧・復興を考えた場合、これら火山性堆積物の他の用途への適用、特に、大量に使用できる土木的視野に立脚した有効利用方法をも検討しておく必要がある。

著者らは、この土石流堆積物の土質力学的特性の把握を目的として、これまでに種々の物理・力学試験を行い、道路盛土材料への適用性や宅地造成盛土材等への有効利用の適用性を、実験により検討してきた^{3) 4)}。

今回は、水中構造物（例えば漁礁や水中堤防等）への適用性を検討するための基礎的実験として、水浸養生による固化実験を実施した。本報告では、その結果を述べる。

2. 試料および実験方法

Fig. 1 に、試料採取位置を示す。水無川下流の水無橋川付近より攪乱状態で採取した土石流堆積物を、試料として用いた。予備実験より、堆積物のみでは十

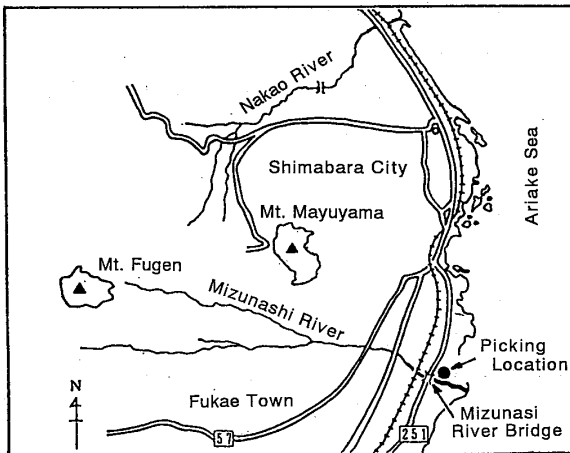


Fig. 1 Picking location of soil sample.

Table 1 Mixture condition.

case	deposit (%)	volcanic ash (%)	hardening (%)
①	63	32	5
②	63	27	10
③	56	24	20
④	40	40	20
⑤	35	35	30

(weight percentage)

分な固化強度が得られなかったため、強度発現促進のために、眉山第六溪砂防ダム上より採取した降下火山灰を使用した。

Table 1 に、土石流堆積物、75 μ mふるいを通じた火山灰、および固化材それぞれの配合条件を示す。ケース①が最も堆積物の配合量が多く固化材が少ない配合で、逆にケース⑤が堆積物が少なく固化材が多い配合となっている。固化材には、早強性を有する炭酸アルミネート系塩材料CAS#42（以下、CAS材と称する）と、普通ポルトランドセメント（以下NPと称する）の2種類を用いた。

配合方法は、J S F 基準「安定処理土の締固めをしない供試体作成方法」に準じて行った。9.5 mmふるいでふるい分けした土石流堆積物に、Table 1 の配合条件で、75 μ mふるいを通じた火山灰、および固化材を加え十分混合後、アルミ製モールド（直径5 cm、高さ10cm）に流し込み、締固めは行わずモールドを床に打ちつけ振動を与える方法で気泡除去を行い整形した。その後、衝撃を加えずに水浸させ所要日数養生（水温25~28 $^{\circ}$ C）した。

水浸養生においては、その養生水の塩分濃度を、水中構造物建造の検討先の1つである、長崎県大村湾の湾奥部の塩分濃度3.2%（'94. 7.15 調査）と等しくなるよう、食塩を加えて塩分濃度を調整した。

また、養生水の違いが強度発現に及ぼす影響を得るために、淡水による水浸養生も並行して実施した。

Table 2 に、養生条件を一覧する。

Table 2 Cure condition.

water	seawater (control to salt concentration 3.2%)
	plain water (tap water)
age	1, 3, 7, 28, 91 day
temperature	25~28 $^{\circ}$ C

3. 実験結果

3.1 CAS材の場合

Fig. 2 に、固化材にCAS材を用いた海水養生条件における、一軸圧縮強さ q_u と材令の関係を示す。材令1日では、ケース①以外は、どのケースとも10kgf/cm²程度の比較的大きな強度を発揮している。また、どのケースとも材令の延びに伴い、 q_u は上昇する傾向を示している。ケース①は、強度が小さく、材令に

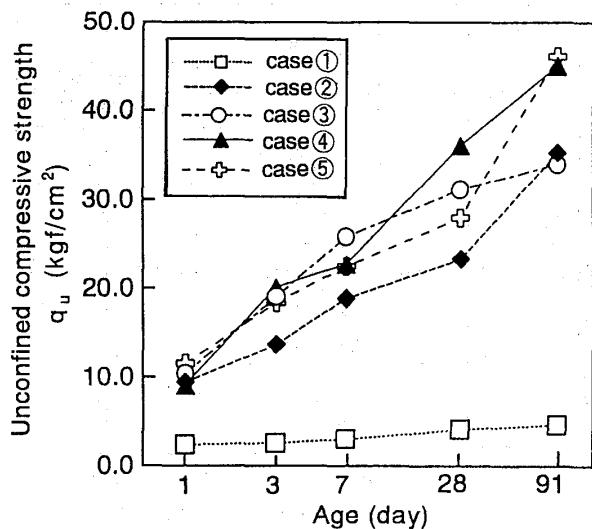


Fig. 2 Increase in q_u accompany by age for CAS.

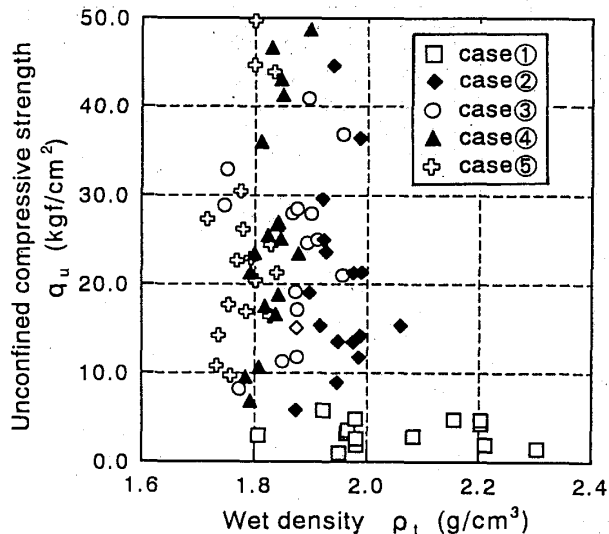


Fig. 3 Relationship between q_u and wet density ρ_t for CAS.

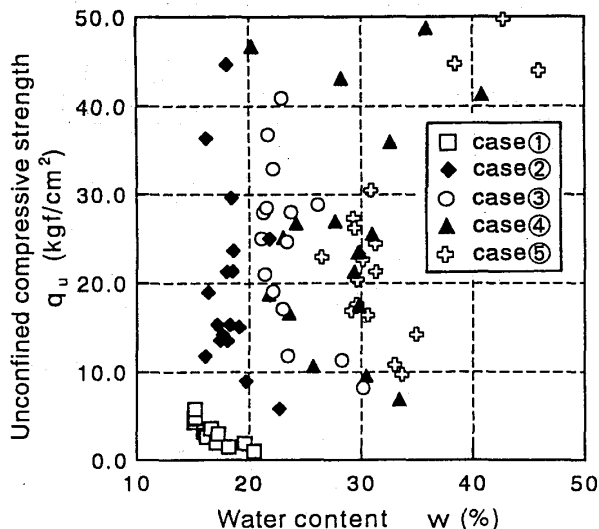


Fig. 4 Relationship between q_u and water content w for CAS.

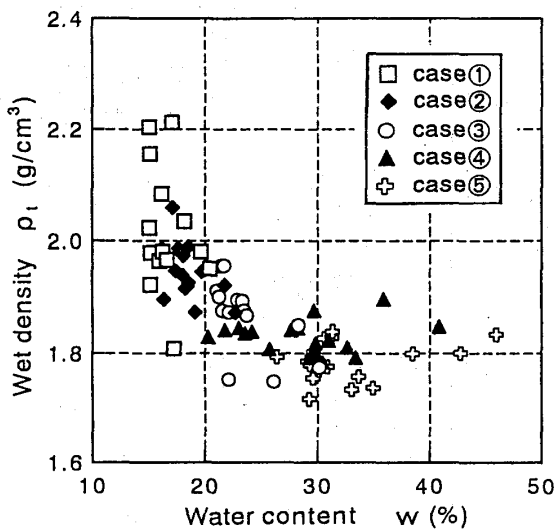


Fig. 5 Relationship between ρ_t and water content w for CAS.

伴う強度の伸びも小さいが、これは固化材量が5%と少なすぎたためと言える。

材令28日で比較すれば、ケース④が最も強度が大きく35.7kgf/cm²で、以下、ケース③、ケース⑤、ケース②、ケース①の順となっている。CAS材の配合量で比較すればケース⑤が最も多いが、強度の大きさはそうとはなっていない、このことからCAS材の配合量のみでは固化強度の大きさは規定されないことが分かる。また、このケース④付近に最も高い強度を与える配合条件が存在することが分かる。

Fig. 3に、一軸圧縮強さ q_u と湿潤密度 ρ_t の関係を示す。 ρ_t の大きさは、ケース①は分布範囲が大きい、ほぼ1.75~2.00g/cm³の範囲にあると言える。ケー

ス毎で比較してみると、堆積物の配合量が多いほど大きな ρ_t を示している。また、どのケースとも q_u の大きさによらず(すなわち材令の伸びには関係せず)に、ほぼ一定の値を示すことが分かる。

Fig. 4に、一軸圧縮強さ q_u と含水比 w の関係を示す。どのケースともある w の範囲に分布しており、ケース①からケース⑤になるにつれて、すなわち堆積物が少なくCAS材が多くなるほど、 w は大きくなる傾向を示している。

Fig. 5には、湿潤密度 ρ_t と含水比 w の関係を示している。 ρ_t と w は負の相関を呈し、堆積物の量が多いほど高湿潤密度、低含水比を、逆にCAS材の量が多いほど低湿潤密度、高含水比を呈している。

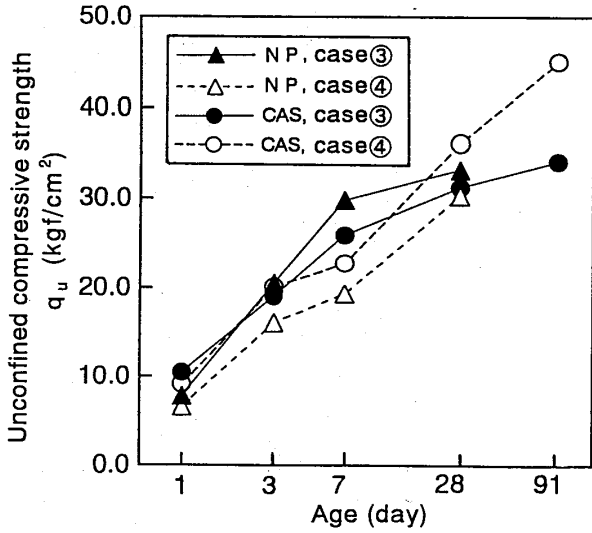


Fig. 6 Comparison of q_u between CAS and NP.

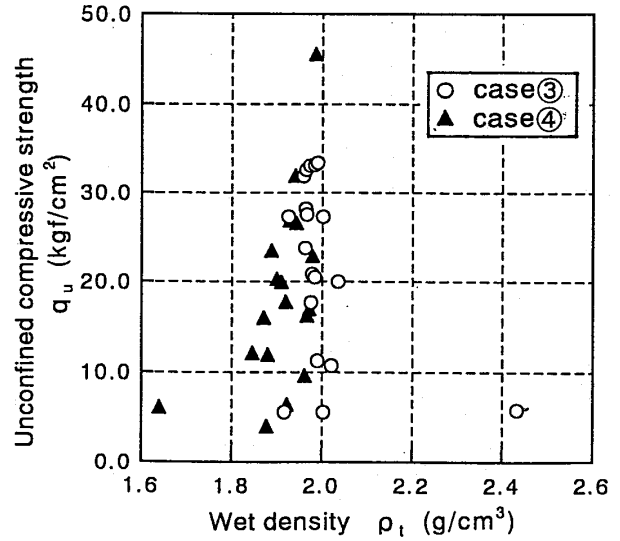


Fig. 7 Relationship between q_u and wet density ρ_t for NP.

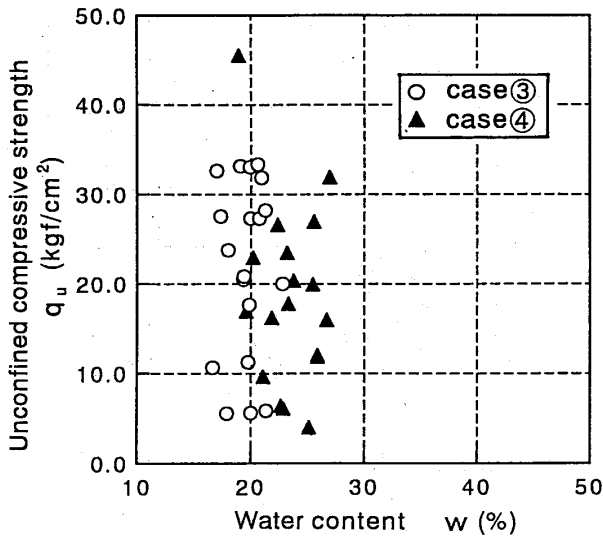


Fig. 8 Relationship between q_u and water content w for NP.

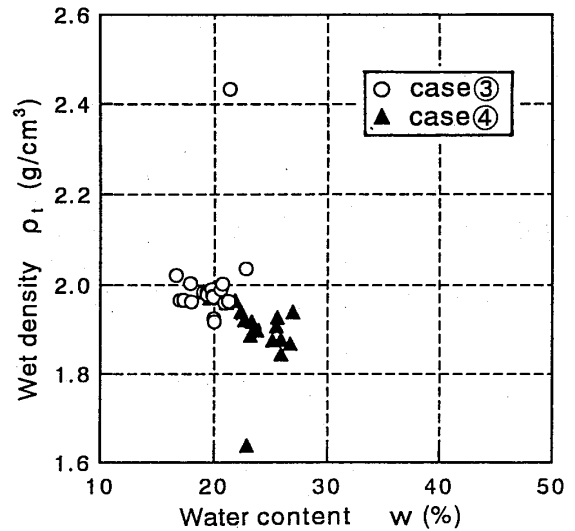


Fig. 9 Relationship between ρ_t and water content w for NP.

ちなみに、図には示していないが、材令28日で最も高い強度が得られたケース④の配合で作成した供試体は、平均含水比27%、平均湿潤密度 1.83g/cm^3 である。

3.2 普通ポルトランドセメントの場合

Fig. 6に、固化材にNPを用いた場合の、一軸圧縮強さ q_u と材令の関係を示す。NPの場合の配合条件は、CAS材で高い強度が得られたケース③とケース④の2ケースで実施した。また図中には、比較のために前述のCAS材での結果を併記している。材令1日、3日の短期強度で比較すると、CAS材の方が2~3 kgf/cm^2 程度大きな値を示している。これは、若干ではあるが、CAS材の有する早強な固化特性が現

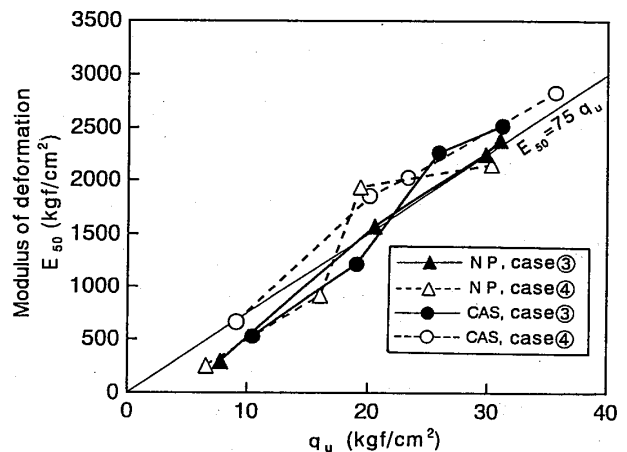


Fig. 10 Correlation between q_u and modulus of deformation E_{50}

れたものと言える。

NPの場合、どちらのケースとも、28日強度で、30 kgf/cm²程度得られている。CAS材とNPを比較すると、ケース③ではNPの方が強度は高く、ケース④ではCAS材の方が高い強度を示している。また、全体的にCAS材の方が、NPより高い強度が得られることが分かる。

Fig. 7に、一軸圧縮強さ q_u と湿潤密度 ρ_t の関係を示す。 ρ_t は、CAS材の場合 (Fig.3参照)と同様に q_u によらずほぼ一定の値を呈し、より高い強度が得られたケース③のそれは、平均19.5%である。

Fig. 8には、一軸圧縮強さ q_u と含水比 w の関係を示している。CAS材の場合 (Fig.4参照)と比較して、 w は、NPの方が数%低い傾向にあることが分かる。

Fig. 9に、湿潤密度 ρ_t と含水比 w の関係を示す。NPで高い強度が得られたケース③の方が、ケース④よりも高湿潤密度、低含水比を示す。

Fig. 10に、変形係数 E_{50} と一軸圧縮強度 q_u の関係を示す。どのケースとも、 E_{50} と q_u はほぼ比例関係にあり、その関係式は $E_{50}=75q_u$ である。配合条件で比較した場合、NP、CAS材ともにケース④が若干大きな値を示す。

ちなみに材令28日、ケース③の供試体は、平均含水比20%、平均湿潤密度1.97g/cm³である。

3.3 養生水による固化強度の違い

Fig. 11には、養生水の違いによる固化強度の差を示している。固化材はCAS材を用い、ケース③の配合条件で行った。淡水養生、海水養生どちらも、材令1日で比較的大きな強度を有している。両者を比較すると、材令1日では淡水養生の方が固化強度は大きい。材令3日および7日では逆に、海水養生の方が強度は高くなる傾向を示している。

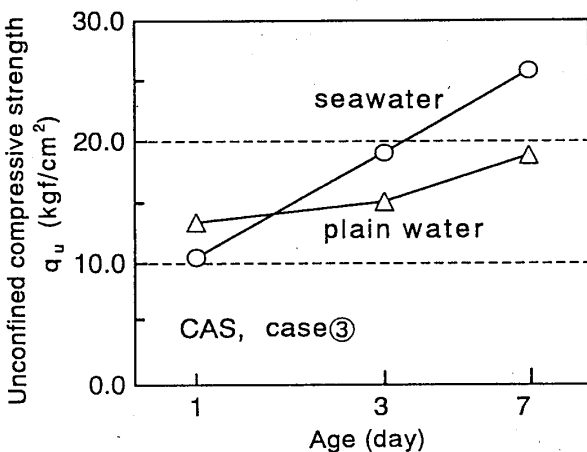


Fig. 11 Differential in q_u by cure water.

3.4 pHの経時変化

Fig. 12には、一軸圧縮試験後の各供試体のpHの変化を示している。固化材にCAS材とNPを用い、海水養生、ケース④の配合条件で行っている。どちらの固化材ともpHは、配合時の11.5程度から、その後若干上昇し、ほぼ12の一定値を示している。pHに関しては、今回の実験では両者に顕著な差は見られない。

水質汚濁防止法施行令で定めるpHの排水基準は淡水で5.8~8.6、海水で5.0~9.0の範囲とされている。今回の実験においては、固化体そのもののpHは12程度と排水基準より大きな値を示している。しかし、海底等への施工においては常に水の流れがあることから、pHは希釈され排水基準の範囲内の値に低下することが予想される。しかし、水中堤防や海底地盤の改良材としてCAS材やNPを用いる場合には、その使用量が多くなることから、pHの上昇を考慮する必要があると考えられる。

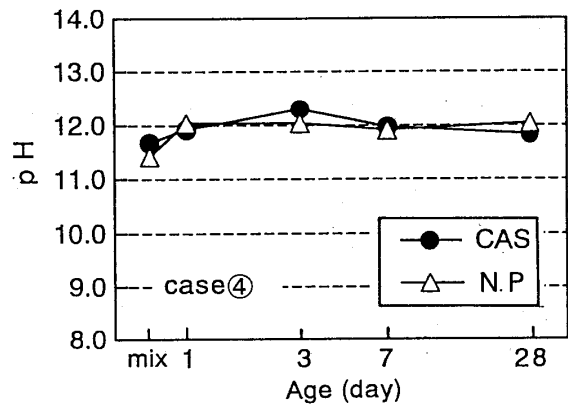


Fig. 12 Temporal change of pH.

4. 気中養生固化実験との比較

養生方法の違いが固化強度に及ぼす影響を把握するために、水浸養生固化において最も高い強度が得られたCAS材、ケース④の配合条件を用いて、気中養生での固化実験を並行して実施した。

気中養生固化実験における供試体作成方法は、前述の2.と同様である。養生方法は、水分が蒸発しないようにモールドを密封材 (サランラップ) で被覆し、気中 (夏期室内; 25~30℃) に静置し所定期間養生した。

Fig. 13に、養生方法と固化強度との関係を示す。水中養生の方が、気中養生よりも約3~8kgf/cm²大きな q_u を呈する。このことは、固化強度の大きさに着目すると、水浸させた方が大きな固化強度が得られるということを示しており、水浸養生方法の優位性を表していると言える。

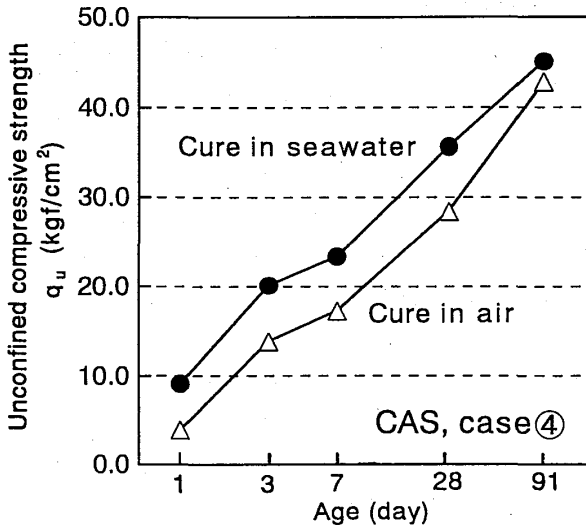


Fig. 13 Differential in q_u by curing method.

5. 結論

今回の土石流堆積物の水浸固化実験において、次の諸特性が明らかとなった。

- 1) 重量比10%以上のCAS#42を加えた場合、材令1日で10kgf/cm²の比較的大きな一軸圧縮強さを発揮する。
- 2) CAS#42の配合量と固化強度の関係は比例関係ではなく、ある配合比（今回の実験ではケース④）で最大の35.7kgf/cm²を有する。
- 3) 固化材に普通ポルトランドセメントを用いた場合、20%の配合量で30kgf/cm²程度の一軸圧縮強さを発揮する。
- 4) 固化材の違いによる発現強度を比較すると、材令1, 3日の短期強度ではCAS#42の方がセメントより2~3 kgf/cm²程度大きな値を示し、CAS#42の速硬性を表している。また全体においてもCAS#42の方がセメントより若干大きな固化強度を発揮している。
- 5) 変形係数 E_{50} は一軸圧縮強さ q_u と、 $E_{50}=75 q_u$ の比例関係にある。 E_{50} を配合条件で比較した場合、CAS#42、セメントともにケース④が若干大きな値

を示す。

6) 養生水の違いによる固化強度は、材令1日では淡水養生の方が大きいですが、材令が延びるに従い海水養生の方が大きくなる。

7) 一軸圧縮試験後に固化体のpHを測定した結果、ほぼ12の一定値を示す。固化材の違いによる顕著なpHの差は見られない。

8) 並行して実施した空中養生固化実験の結果と比較した場合、水浸養生の方が約3~8kgf/cm²大きな q_u を呈し、水浸養生方法の優位性を示す。

6. おわりに

本研究では、雲仙・普賢岳土石流堆積物を対象とした水浸養生固化実験を行い、土木の視野に立った有効利用の方策を検討した。現段階では、基礎実験にとどまってはいるが、特にFig. 6の固化強度やFig. 12のpHの測定結果等は、実際に漁礁や潜堤等の水中構造物を施行する際の重要な判断データになると思われる。

今後は、実施工を考慮した検討をさらに行うとともに、環境にも配慮した活用方法を考慮する必要がある。

謝辞

本研究の遂行にあたり、五洋建設(株)技術研究所徳永豊氏より研究助成ならびに貴重な助言を頂いた。ここに記して、謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 朝日新聞西部本社版；1994年10月19日
- 2) 長崎新聞；1994年9月7日
- 3) 後藤・山中他；雲仙・普賢岳土石流堆積物の固化材を用いた強度発現，第29回土質工学研究発表会，pp. 2315-2316，1994. 6
- 4) 後藤・山中他；火山性堆積物の有効利用に向けての物理試験，CBR試験および固化実験，火山工学シンポジウム発表論文集，pp. 87-92，1994. 7