

気泡混合軽量土による道路盛土の設計と施工

Design and Construction Procedure of Highway Embankment using Foamed Cement Banking Material

馬場 辰也*
Tatsuya Baba

服部 信雄**
Nobuo Hattori

松浦 敏憲*
Toshikazu Matsuura

要 約

本報は、地すべり地帯における気泡混合軽量土による道路盛土の設計と施工についての報告である。幅約110m、長さ約90mの地すべりブロックで、下方に住宅が近接している特Aランクの地すべり地帯に高さ10mを越える道路盛土を施工するにあたり、抑制工・抑止工を効果的に配置することで現状の改善を図るとともに、工事による影響を最小限に抑える対策として「軽量盛土+深礎杭」の工法を採用した。軽量盛土工としては、気泡混合軽量土を採用し、工期短縮・コスト低減を図るために大容量連続施工プラントを用いて施工した。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 地形・地質
- § 3. 気泡混合軽量盛土の設計
- § 4. 気泡混合軽量盛土の施工
- § 5. あとがき

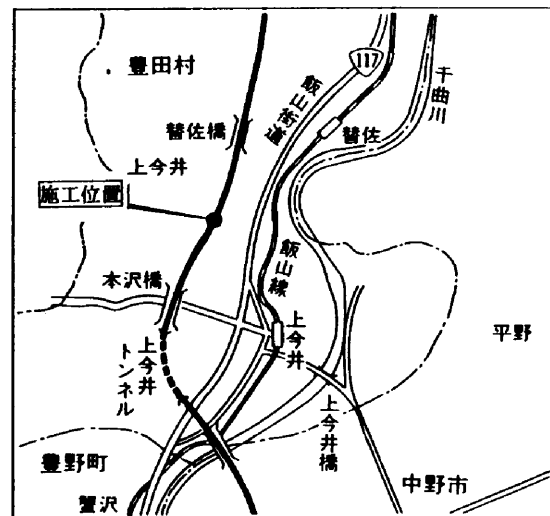


図-1 位置図

§ 1. はじめに

上信越自動車道信州中野IC～豊田IC間のうち、今回、気泡混合軽量土による軽量盛土の施工区間は、信州中野ICより千曲川を横架した後にJR飯山線と交差した地点を

始点とし、国道117号と交差し丘陵地のリング畑をトンネル(L=691m)で抜け、長大橋により他工区へ結ぶ2,748mの工区のほぼ中央に位置する地すべり地帯である(図-1)。軽量盛土を施工した長野県下水内郡豊田村の上今井地区では、昭和60年の台風6号に伴う集中豪雨(6/30～7/1, 降雨量72mm)の際に地すべりが発生し、

* 中部(支)衣浦(出)

** 中部(支)中電上麻生(出)

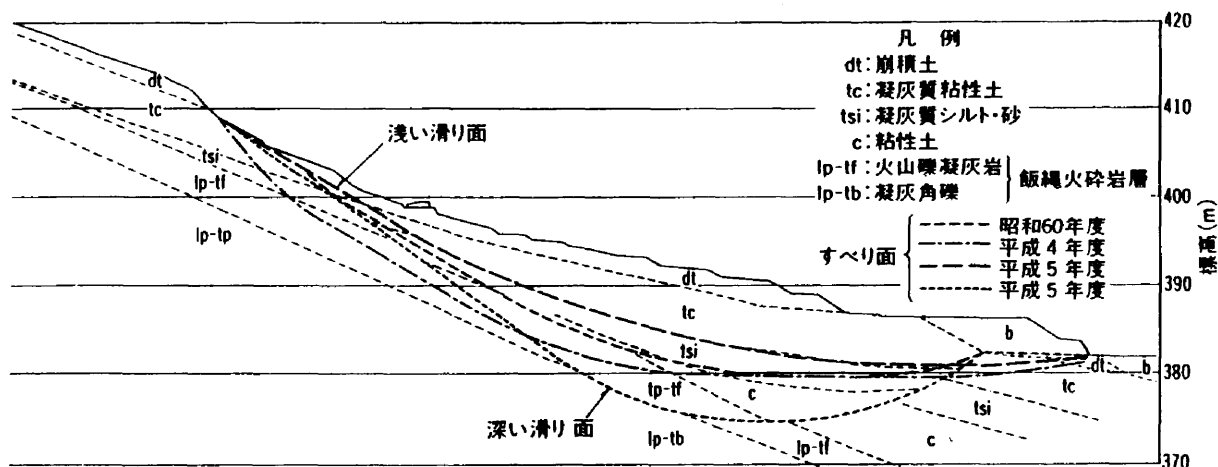


図-2 地すべり縦断方向断面図

幅約110m、長さ約90m規模の土塊が急速に滑落した。このため、冠頭部に落差10m近い滑落崖がアーチ状に生じ、両側方からさらに下方へと伸びた。

すべり端部は造成地上部にまでおよび、土塊の押し出しにより土留擁壁が破壊され地盤が大きく隆起した(図-3)。

当時すべり末端部の造成地に住宅が建設中であり、地すべり危険度区分でAランクに指定されていた。

上信越自動車道が当該地区を盛土構造で通過するにあたり、抑制工・抑止工を効果的に配置することで現状の改善を図るとともに、工事による影響を最小限に抑える対策工法の一つとして採用した気泡混合軽量盛土の設計と施工について報告する。

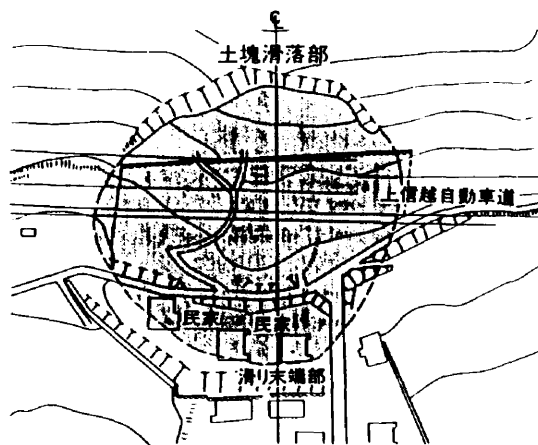


図-3 地すべりブロック平面図

§ 2. 地形・地質

2-1 地形

施工区間は、標高300m～500m程度の丘陵地～山地である。この丘陵地～山地は、標高400m程度を境として、それより高い部分の山腹斜面の傾斜は25～35度で比較的急斜面となっている。小規模な表面崩落が斜面上に認められるが、大規模な地すべりの危険性は少ない。それに対して標高400mより低い部分の山腹斜面の傾斜は10～15度で、なだらかな部分が多く、馬蹄形の崩壊跡や地すべり地形などが随所に見られ、斜面状況は不安定である(図-2)。

2-2 地質

この地域は「フォッサマグナ」と呼ばれる大地溝帯の内部に位置し、地質層序については、下位から第三期鮮新世後期に属する飯山累層、第四期更新世に属する飯縄

火砕岩層、これと指交関係にある豊野層(三水層)、黒姫、妙高火砕流堆積物、池尻川泥流堆積物、湖沼性堆積物、更新世～完新世のローム層、ならびに完新世に属する低位段丘堆積物、崖錐堆積物、現河床堆積物が分布する。

2-3 地質特性

この付近には替佐断層が分布する。この断層は活断層であるとされており、規模・落差ともに比較的大きなものであると推察されている。したがって断層沿いの地質は、かなり脆弱化している可能性が高いと考えられる。

§ 3. 気泡混合軽量盛土の設計

3-1 軽量盛土の検討

地すべり安定解析は鉛直スライス分割を用いて行った。この解析結果より計画安全率 $F_s=1.20$ を確保するために

表－1 対策工法比較一覧表

	第1案－軽量盛土工 ＋深礎杭工	第2案－軽量盛土工 ＋鋼管抑止杭工	第3案－軽量盛土工 ＋深礎杭工
構造特性	軽量盛土工を用いることで盛土荷重を軽減させ、それでも不足する抑止力を深礎杭工で補おうとするものである。 地すべりが大きくて、鋼管抑止杭では設計施工に無理があるような場合には、大口径杭として深礎杭工が用いられる。構造特性としては、基本的には鋼管抑止杭と同じである。 地下水低下を図るため、集水井を併用する。	軽量盛土工を用いることで盛土荷重を軽減させ、それでも不足する抑止力を鋼管抑止杭で補おうとするものである。 鋼管抑止杭工は、地すべり斜面に鋼管杭を挿入し、すべりに対して杭の曲げ強度で直接的に抵抗して斜面の安定を高める工法である。 地下水低下を図るため、集水井を併用する。	地すべりが大きくて、鋼管抑止杭では設計施工に無理があるような場合には、大口径杭として深礎杭工が用いられる。構造特性としては、基本的には鋼管抑止杭と同じである。 地下水低下を図るため、集水井を併用する。
①経済性	○ 3案中工事費が最も安い	× 第1案と比較して1.67倍割高	△ 第1案と比較して1.14倍割高
②施工性	○ すべりは休止状態となっているため斜面上での掘削にも支障はない。 深礎杭施工 約1ヶ月 軽量盛土工 7ヶ月 集水井 2ヶ月 計 1年8ヶ月	○ 基本的には第1案と同じ 深礎杭施工 約12ヶ月 軽量盛土工 7ヶ月 集水井 2ヶ月 計 1年9ヶ月	△ 基本的には第1案と同じ 深礎杭施工 約25ヶ月 集水井 2ヶ月 計 2年3ヶ月
③信頼性	○ 軽量盛土工を用いることで必要な抑止力は低下され、結果として深礎杭工で十分対応可能な設計条件となっている。深礎杭で本線の足元を固めているため、信頼性は高い。	△ 鋼管杭は、曲げ抑え杭として設計しているが、抑止力とすべりの層厚のバランス上、鋼管杭では設計上多少無理があるように思われる。	△ 必要抑止力が大きいため深礎杭を用いても抑止力とすべりの層厚のバランス上、多少無理があるように思われる。
④維持管理	○ 抑止工の維持管理の手間はほとんど要しない。 ただし、水抜きボーリングは、定期的に洗浄を要する。	○ 基本的には第1案と同じ	○ 基本的には第1案と同じ
⑤美観	○ 軽量盛土工は、仕上がり面は化粧した直壁となる。 深礎杭工は斜面上に埋め込みとなる。	○ 基本的には第1案と同じ	◎ 通常の植生した盛土のり面として施工できる。
総合評価	1	3	2

凡 例 ◎：優れている ○：良い △：やや劣る ×：劣る

は、地すべり対策工が必要であることが判明した。また学識経験者および本社土木設計部を含めた地すべり対策検討委員会等を開催し、当該のり面に有効と思われる対策工法として、①軽量盛土工＋深礎抑止杭工

②軽量盛土工＋鋼管抑止杭工

③当初盛土工＋深礎抑止杭工

の3案を選出した。地下水低下を図るため、これらの対策工には、集水井＋水抜きボーリングを併用するものとした。対策工の比較一覧表を表－1に示す。

このほかに施工事例の多い抑え盛土工について検討した結果、下方の住宅の立ち退きが多いこと（9世帯）と上層すべり（崩積土）において計画安全率に達する盛土形状が求められなかったため、工法比較より除外した。対策工法の比較検討の結果、経済性・信頼性・施工性に優れた「軽量盛土工＋深礎抑止杭工」に決定した。軽量盛土工法には、気泡混合軽量土、発砲スチロールブロック、石炭灰等の副産物、天然材料を利用して軽量化を図るもの、あるいは中空構造により軽量化を図るものなど種々ある中から、実績、施工性、経済性より気泡混合軽量土による工法を採用した。

3－2 気泡混合軽量土の特徴

気泡混合軽量土は起泡材により発泡させたムース状の

均一で微細な気泡をセメントミルクあるいはセメントモルタルと混合して製造するもので、以下の特徴を有している。

（1）軽量性

0.5～1.3g/cm³程度の湿潤密度（生比重）を得ることが可能で、軟弱地盤上での沈下が軽減される。また、地すべり地の荷重軽減に適用される。

（2）流動性

ポンプ圧送では材料分離せずに500m程度の圧送が可能で、転圧が困難な箇所、材料や機械の搬出入が制限される箇所に適用される。

（3）硬化後の自立性

一軸圧縮強さ（ q_u ）300kN/m²（3kgf/cm²）以上の配合が可能であり、一般的な盛土としては300～1,000kN/m²（3～10kgf/cm²）のものがよく用いられる。また、硬化後は自立するため鉛直盛土の施工が可能である。

気泡混合軽量土は、上記の特徴を活かして通常の盛土材では困難な場所での施工に適している。

また、盛土荷重の低減、敷均し・締固めの省力化、狭小部の充填、鉛直壁の施工なども可能である。さらに敷均し・締固めの作業が不要となるため、低音・低振動かつ短期間での盛土が可能となる。

表－2 暫定配合表

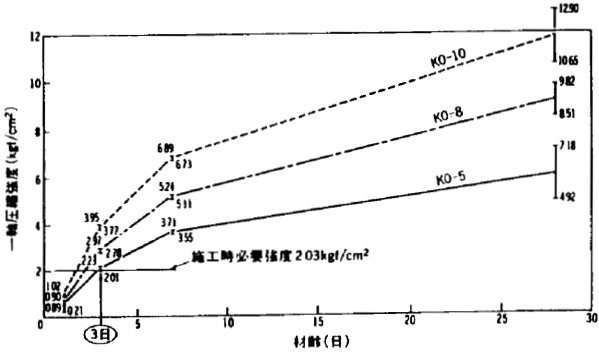
フロー値 (180mm)

種別 配合	一軸圧縮強さ qu (kN/m ²)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	*セメント C (kg/m ³)	砂セメント比 容積比 (質量比)	砂 S (kg/m ³)	気泡剤 ml (kg/m ³)	希釈水 m2 (kg/m ³)	調整水 m3 (kg/m ³)	水量 W (ml・m ³ ・m) (kg/m ³)	湿潤密度 (生比重) (g/cm ³)	単位容積質量 (kN/m ³)
K0-3	300 (3)	66.5	92.0	268	0 (0)	0	1.15	26.45	219	247	0.52	5.1
K0-5	500 (5)	64.0	88.0	298		0	1.11	25.53	235	262	0.56	5.5
K0-8	800 (8)	61.0	84.0	334		0	1.06	24.38	256	281	0.62	6.1
K0-10	1000 (10)	59.5	82.0	353		0	1.03	23.69	264	289	0.64	6.3
K1-3	300 (3)	62.5	105.0	214	1.154 (1)	214	1.09	25.07	199	225	0.65	6.4
K1-5	500 (5)	60.0	101.0	233		233	1.04	23.92	210	235	0.70	6.9
K1-8	800 (8)	56.5	96.0	261		261	0.98	22.54	227	251	0.77	7.5
K1-10	1000 (10)	54.5	93.0	278		278	0.95	21.85	236	259	0.82	8.0
K2-3	300 (3)	58.5	118.0	183	2.308 (2)	366	1.02	23.46	192	216	0.77	7.5
K2-5	500 (5)	56.0	115.0	197		394	0.97	22.31	204	227	0.82	8.0
K2-8	800 (8)	53.0	111.0	214		428	0.92	21.16	216	238	0.88	8.6
K2-10	1000 (10)	51.0	108.0	226		452	0.89	20.47	223	244	0.92	9.0

注) *配合記号の説明：K a－b Kは高炉のイニシャル，aはS/C，bは目標一軸圧縮強さ
*一軸圧縮強さの()内の数字は、kgf/cm²
*この暫定配合は現場での材料や施工のばらつきを考慮して、室内配合試験結果から得られた配合より200kN/m²(2kgf/cm²)の強度割増しを考慮した配合となっている
*セメント：高炉セメントB種 セメントの密度(ρc)：3.05g/cm³
土粒子の密度(ρs)：2.643g/cm³
水の密度(ρw)：1.00g/cm³
気泡剤の密度(ρk)：1.00g/cm³ 希釈倍率：24倍 発砲倍率：25倍

表－3 気泡混合軽量盛土の強度検討結果

照査項目		応度 qu (kgf/cm ²)	Fs	必要強度 qu=Fs・qu (kgf/cm ²)	必要強度 規定日
qu1	下部路床のCBR換算値	0.71	3.0	2.13	28日
qu2	タイヤローラーT-25起時	0.66	3.0	1.98	28日
qu3	自立強度	0.56	3.0	1.68	28日
qu4	a) 施工時の動機走行	2.03	1.0	2.03	3日
	b) 人・荷物	0.48	1.0	0.48	3日



図－4 一軸圧縮強度と材齢

3－3 気泡混合軽量土の配合決定

施工に先立ち、日本道路公団試験研究所の資料「気泡混合軽量土を用いる軽量盛土工法の設計・施工に関する指針」に示す暫定配合(表－2)のうちK0－5・K0－8・K0－10の3種類について試験練りを実施し、各材齢の一軸圧縮強さを確認した(図－4)。
・気泡混合軽量土の配合は、軽量土が自立し、かつ、打設時および路床の施工時に必要な強度を有するものとして、必要強度の検討を行った結果(表－3)、3日でqu＝203kN/m²(2.03kgf/cm²)に達する配合が得られた。
その結果、上部路床施工時の影響範囲1.0m(下部路床相当)については高めの強度を有するK0－8の配合とし、その下方についてはK0－5の配合を採用した。なお、起泡沫材は界面活性剤系を用いた。

§ 4. 気泡混合軽量盛土の施工

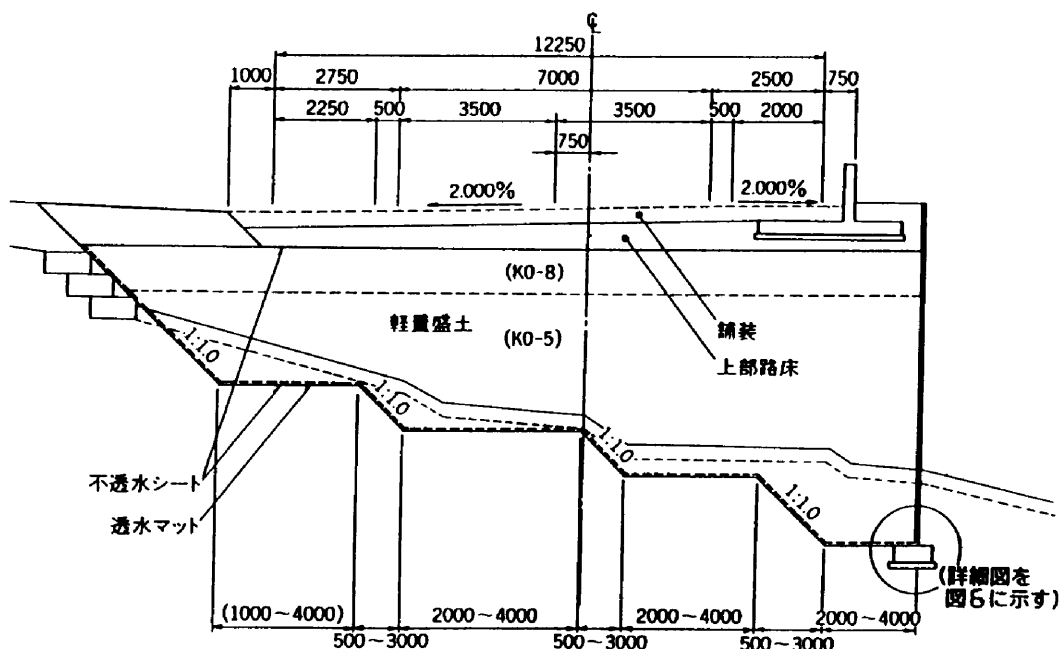
4－1 施工の概況

軽量盛土工の施工規模は、延長約160m、天端幅約30m
最大打設高さ約12.5mで施工数量は次の通りである。

気泡混合軽量土	K0－5	18,089m ³
	K0－8	4,071m ³
外壁工	基礎	157m
	外壁	1,537m ²
	合計	22,160m ³

4－2 軽量盛土工の構造

軽量盛土工の標準断面図を図－5に示す。
以下に、軽量盛土工の施工手順を示す。
①盛土全体の安定を図るため地山を横断方向2.0～4.0m、高さ0.5～3.0mの段切りを行う。



图一5 輕量盛土標準断面图

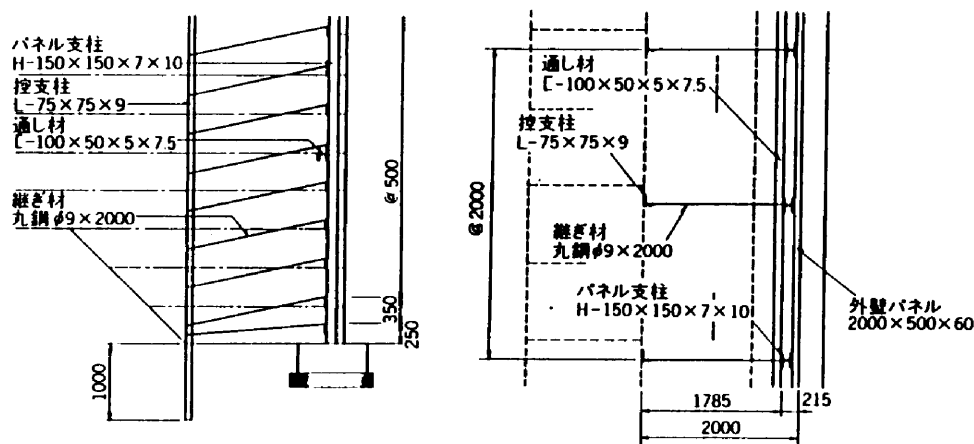


圖-6 外壁工詳細図

②地山の地下水の浸透による重量の増加や強度の低下が懸念されるため、段切り面に透水マット（ $t=1\text{mm}$ ）を、さらにその上に不透水シート（ $t=1\text{mm}$ ）を敷設する。そのほか、排水対策として外壁基礎工沿いに盲暗渠を設置する。

③外壁部は図-6に示すように、気泡混合軽量土打設時の型枠を兼ねた壁面保護材として、中空押出成形セメント板を使用する。H鋼支柱は $\phi 9\text{ mm}$ の丸鋼で後方のアングルにつないで補強する。

④最終打設面は下部路床とし、仕上がり面には不透水シートを敷き、その上に通常の上部路床を施工する。

⑤補強材は壁高欄の下面に分離転倒防止およびクラック抑制のために溶接金網 $\phi=4.0\text{mm}@10\text{cm}\times 10\text{cm}$ を2段

(50cm間隔) に設置する。

4-3 気泡混合軽量土の打設

(1) 配合

日本道路公団指針暫定配合により選定したK0-5,K0-8の配合に対して起泡材による配合試験練りを行い、各材齢の一軸圧縮強さを確認して表-4に示す配合を決定した。

(2) 気泡混合軽量土の製造

気泡混合軽量土の製造フローを図-8に示す。写真-1に気泡群を示す。

(3) 使用機械

本工事は日本道路公団の気泡混合軽量盛土の施工実績の中でも最大規模の施工であり、また、工期短縮を図る

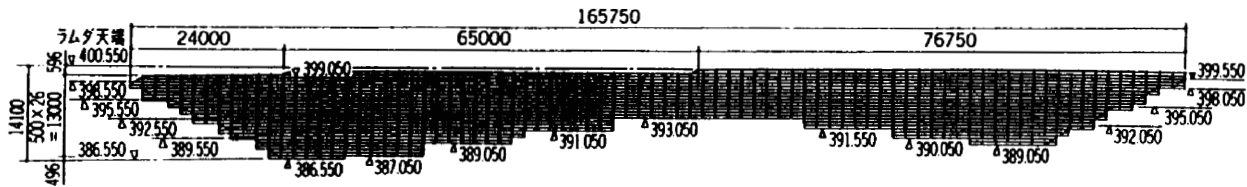


図-7 外壁材割付図

表-4 現場配合図

配合	目標強度 qu (kgf/cm ²)	W/C (%)	1m ³ 当たりの配合				生比重 (湿潤密度) (g/cm ³)	フロー値 (mm)	空気量 (%)
			セメント (kg)	混練水 (kg)	希釈水 (kg)	気泡剤 (kg)			
KO-5	5	87.8	298	235	25.27	1.33	0.560	180±20	64
KO-8	8	84.3	334	256	24.13	1.27	0.615	180±20	61

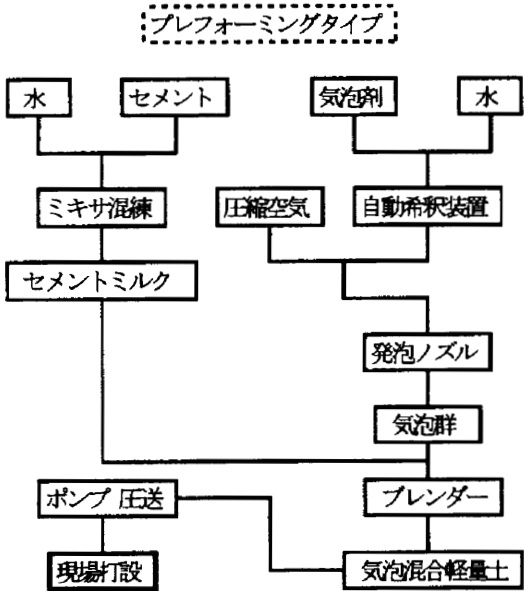


図-8 気泡混合軽量土の製造フロー

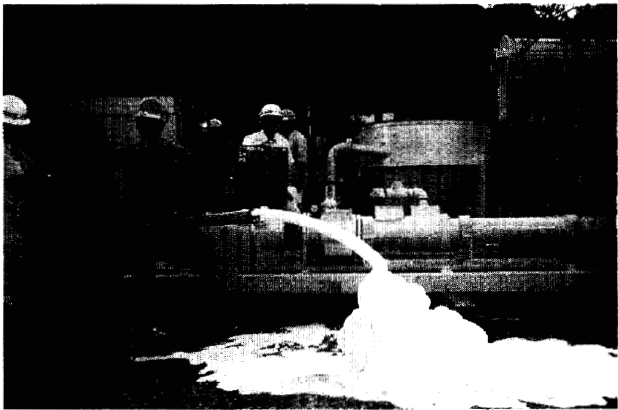


写真-1 気泡群

図-9 大容量連続施工プラントの設置図

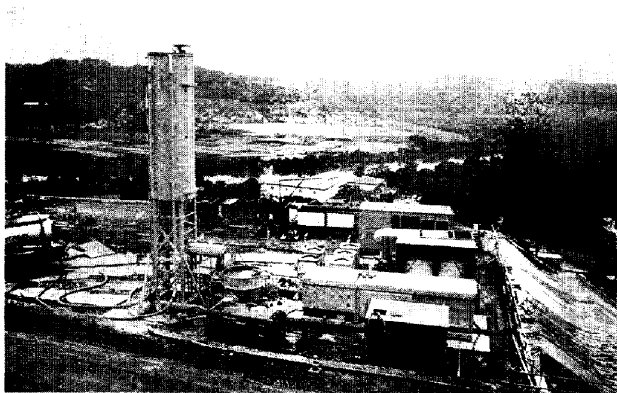


写真-2 プラント設備



写真-3 打設状況



写真-4 軽量盛土完了



写真-5 外壁工完了

ため、図-9に示すような大容量連続施工プラントを現場に設置(写真-2)し、平均吐出量 $80\text{m}^3/\text{h}$ 、1日最大 800m^3 の打設を行った。この結果、短期間で施工を完了させることができ、工期短縮につながった。

(4) 打設方法

1回の打設リフトを 50cm とし、各ブロックを仮仕切で区切って打設した。ただし、打継ぎ目は重ならないようにし、吐出口は常に一定間隔で移動し、気泡混合軽量土の自然流動をできるだけ少なくした(写真-3)。打設用配管は3吋鋼管(先端部はホース)を用い、圧送距離は 180m 、洗浄污水处理用と合わせて配管をダブルにした。給水は下方水路よりポンプアップして、 24t 水槽(3槽直列)に貯水し、使用した。電力の供給は発電機で行った。また、セメント専用タンクは 30t で使用量は $120\sim 200\text{t}/\text{日}$ であったが、メーカーの協力により山間部にもかかわらず補給タンクなし、納入待ちすることなく供給された。

(5) 品質管理

練混ぜ時には、湿潤密度(生比重)、空気量、フロー値

を測定し、各項目とも1日に2回(午前・午後)確認を行った。硬化後は供試体($\phi 5\text{cm}\times 10\text{cm}$)により一軸圧縮強度試験(材齢7日)を実施して、所定の強度が得られたことを確認した。

(6) その他

打設中に降雨にさらされると気泡が消泡し品質低下を招くため、降雨が予想されるときは打設を中止した。

§ 5. あとがき

気泡混合軽量土は、本報告のような地すべり地の盛土以外に、拡幅および急峻地の鉛直盛土、構造物背面土圧の軽減、狭小部の充填等、その特徴を活かし、通常の盛土材での施工が困難な場所での施工に適しており、また今回使用した大容量連続施工プラント(打設能力 $600\sim 800\text{m}^3/\text{日}$)を採用すれば、工期短縮やコスト低減が可能となり、大量打設工事にも対応できることから、今後気泡混合軽量土の採用がますます増えるものと考えられる。