

道路立体交差化におけるアプローチ盛土部の 急速施工法の開発

飯 島 健 勝 又 正 治
野 田 兼 司 高 木 亨

要 旨

都市再生事業の一つに平面交差道路の立体交差化がある。狭いエリアでの急速施工が求められるオーバースタッドによる道路立体交差のアプローチ盛土部の構築方法として、幅広い性状の発生土の使用が可能な気泡混合軽量土による施工法を考案し、試設計による検討、室内配合試験、小規模なモデル試験を通して、その適用性の検討を行った。

その結果、細粒分含有率40%以上の発生土を用いた気泡混合軽量土であっても、強度など道路盛土としての必要性能を十分に満足することが可能であり、急速施工において不可欠である連日打設時の気泡混合土上での作業性にも問題のないことが確認された。また、材齢1日で盛土は十分に安定し、汎用の簡易な壁材の使用が可能であることが確認された。これらより、提案工法は道路立体交差アプローチ盛土部の急速施工への適用が可能であると考えられる。

キーワード 道路盛土 / 気泡混合軽量土 / 発生土 / 道路立体交差

目 次

- | | |
|-----------|----------|
| 1 . はじめに | 3 . 検討結果 |
| 2 . 工法の概要 | 4 . おわりに |

DEVELOPMENT OF AN METHOD TO EXECUTE THE WORK RAPIDLY IN APPROACH EMBANKMENT PART AT GRADE SEPARATION OF A WAY

Takeshi IIJIMA
Kenji NODA

Masaharu KATUMATA
Toru TAKAKI

Synopsis:

In one of project revitalizing town, there is the project which turns a way into grade separation. That grade separation of a way by an overpass mode executes the work rapidly in a small area is demanded.

We suggested an application method by formed cement banking as a construction of the approach embankment part, and through analysis by trial design, a laboratory arrangement test, small model test, examined the applicability.

As a result, that formed cement banking satisfied enough performance demanded as embankment of a way was confirmed even if fine contents rate of soil was more than 40%. In addition, that day after day execution was possible was confirmed in order to execute the work rapidly that it was a necessary condition. Furthermore, embankment was stable enough after execution in a day, and that we could use simple wall material of a general purpose was confirmed.

In approach embankment part at grade separation of a way, we can execute the work rapidly by using a method of construction that we suggested.

1. はじめに

政府の「都市再生プロジェクト」が平成13年に発足し、今後、都市再生事業が本格化するものと考えられる。都市部における交通渋滞は物流の妨げとなって経済活動に著しい悪影響を与えており、その解消は都市再生事業の大きな目玉となっている。

交通渋滞解消手段の一つに平面交差道路の立体交差化があるが、そのうちオーバースによる道路立体交差は、橋梁部とアプローチ部で構成されるのが一般的である。アプローチ部を通常の盛土により構築する従来工法においては、都市部に多く見られる軟弱地盤を対象とした場合、盛土を支える基礎地盤の改良が必要となるため、工期が長くなり、工事のための交通渋滞が長期化するという問題点があった。また、その解決手段としては、盛土の軽量化を指向して気泡混合軽量土を用いることも考えられてきたが、混合する発生土の細粒分含有率が高くなると流動性が損なわれることから、使用できる発生土が限定されるという問題点があった。

今回、こうした問題点を解決し、幅広い性状の発生土の使用が可能な気泡混合軽量盛土によるアプローチ部の構築方法を考案し、狭いエリアでの急速施工が求められる道路立体交差への適用性の検討を行ったので、その検討結果について報告する。

2. 工法の概要

オーバースによる道路立体交差のアプローチ部に適用する気泡混合軽量土工法の施工イメージを図-1 および図-2 に示す。

まず壁材には汎用のプレキャストパネル(コンジョットパネル)を使用し、気泡混合軽量土の打設は、現地に気泡混合プラントのみを設置し、発生土を泥水車にて、セメントミルクをミキサー車にて適宜搬入して打設を行う方法とした。こうすることで、発生土の仮置場やセメントサイロ等の仮設備の設置が不要となり、施工エリアに関して制約条件の厳しい都市部におけるアプローチ盛土の急速施工が可能となる。

気泡混合軽量土を盛土材として用いることで、通常の転圧工法により盛土を構築する従来工法に比べ、工期の短縮が図られる。それに加えて、従来工法に比べて盛土の重量を半分以上にすることができることから、都市部

に多く見られる軟弱地盤を対象とした場合、従来工法では必要であった盛土を支える基礎地盤の改良が不要または軽減でき、さらに工期の短縮が可能となる。また、気泡混合軽量土は側方に大きな土圧を及ぼさないことから、簡易な壁材の使用が可能となり、このことも工期の短縮につながる。

さらに、使用する発生土の細粒分含有率に応じて高炉スラグ等の調整材を添加することで、気泡混合軽量土としての所定の品質を確保させる配合方法を確立した。具体的には、調整材を添加することで流動性が著しく低下することを防止でき、これにより配合する水の量を減らせるので、結果的に強度を確保することが可能となる。これにより、従来困難であった細粒分含有率の高い発生土を用いた気泡混合軽量盛土の施工が可能となる。この技術に関しては、当社が従来保有していた流動化処理土の品質管理技術(フローデル)のノウハウを気泡混合軽量土にも応用することで実現に至っている。

3. 検討結果

3.1 検討の手順

工法の成立性の確認のため、道路盛土としての必要性能の把握 室内配合試験による配合設計 アプローチ盛土施工の一部分を模擬した小規模なモデル試験による必要性能(密度、強度、流動性)の確認と施工性の確認 細粒分が多い発生土を対象とした場合を想定し、高炉スラグ等の添加による品質(強度、流動性)の改善効果の確認と配合設計手法の確立 の手順で検討を行った。

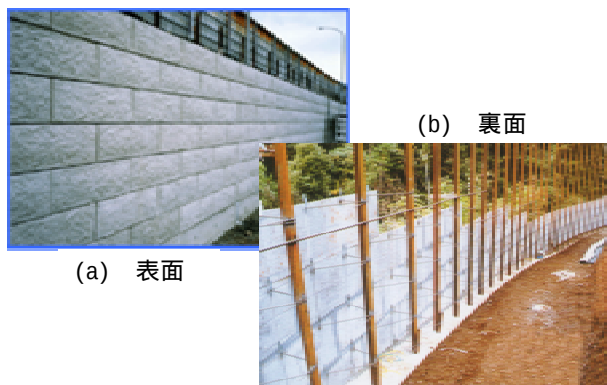


図-2 使用する壁材の適用状況例

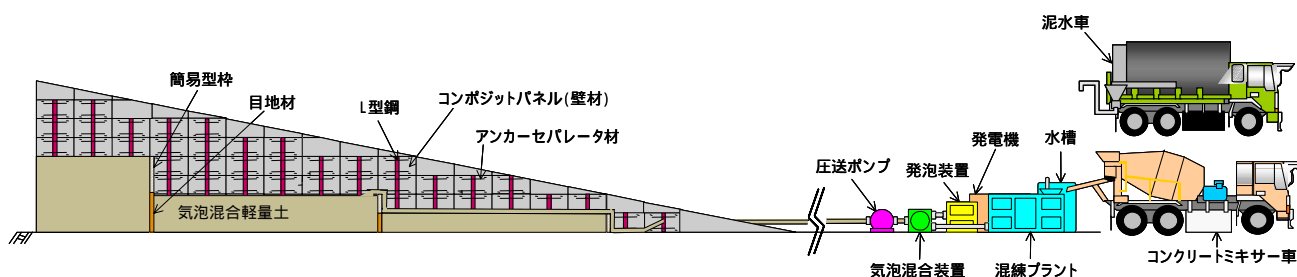


図-1 施工イメージ図

3.2 必要性能の把握

設計は JH の指針「気泡混合軽量土を用いた軽量盛土工法の設計・施工指針」¹⁾に準拠して行った。

JH の指針によれば、荷重軽減工法（盛土荷重を減らし、原地盤に与える影響を軽減することを目的としたもの）として気泡混合軽量土を用いた軽量盛土工法の設計項目は、

気泡混合軽量土による盛土体の安定の検討

地盤を含む安定等の検討

の2つに大別される。このうち前者は、道路路床・路体としての強さ（CBR 換算値）、交通荷重に対する強さ、自立を保持するための強さ、上層部施工時に必要な強さといった盛土体自体の安定性の検討であり、盛土体の一軸圧縮強さが指標となる。後者は、滑動、転倒、円弧滑り、沈下といった地盤を含む全体の安定検討であり、当然地盤の強度が関係するが、盛土体に関しては盛土体の一軸圧縮強さの他、盛土体の湿潤密度が関係する。

気泡混合軽量土の湿潤密度は、セメント、原料土、水および気泡の混合により、 $0.5 \sim 1.3 \text{ t/m}^3$ 程度の範囲で調整することが可能である。都市部を想定した場合は地盤が軟弱であることが多いため、盛土体の湿潤密度は極力軽量化を指向し、発生土を混合した場合の設定可能範囲の最小値である 0.8 t/m^3 に決定した。

設計に用いる一軸圧縮強さは、盛土体に発生する応力に所要の安全率を乗じて設定する。前述した路床・路体としての強さ（CBR 換算値）、交通荷重に対する強さ、自立を保持するための強さは、長期的な強度が求められる項目であり、上部路床に適用する場合を想定した場合の必要 CBR 値としては $\text{CBR}=10$ が求められる。28 日標準養生後の CBR と一軸圧縮強さの間には $\text{CBR} = 3.5 / 100 \times q_u$ （ここに q_u [kN/m²]）の関係があることから、 $q_u = 10 \times 100 / 3.5 = 290$ (kN/m²) を得る。これは上記の3つの必要強度のうちで最も大きく、よってこれに長期の安全率 3.0 を乗じて、設計一軸圧縮強さを約 1000 kN/m² と決定した。

また、上層部施工時に必要な強さは、人力による壁材運搬等の施工を想定して、体重 100kg の人間が作業可能な盛土体の強度としてコーン指数 $q_c=260 \text{ kN/m}^2$ （一軸圧縮強さで約 36 kN/m²）を設定し、これに短期の安全率 1.0 を乗じて決定した。

その他、施工に関わる必要性能としては、打設材料のフロー値がある。フロー値については、ポンプ圧送による配管で材料分離せずに 500m 程度の圧送が可能な流動性を確保するため 200mm ± 20mm を目標値とした。

3.3 室内配合試験

上述した必要性能を確保する気泡混合軽量土の配合を決定するために室内配合試験を実施した。使用材料はセメントには高炉 B 種を、発生土には細粒分含有率 43% の礫混じり細粒分質砂を用いた。試験は、泥水にセメ

ントを混合 混練水を投入し混合攪拌 発泡装置を用いて気泡を作成 気泡を投入しさらに混合攪拌 所定のフロー値と湿潤密度を確保したかの確認 一軸圧縮強さの確認 の手順で行った。また、室内配合試験における目標一軸圧縮強さは室内と現場の施工状況の違いを考慮して、設計強度の 1.5 倍の 1500 kN/m² とした。

室内配合試験の結果を表-1 および図-3 に示す。図-3 の湿潤密度と一軸圧縮強さとの関係により、C300S150 を最適な配合として選定した。

表-1 室内配合試験結果

配合略号	セメント 〔kg〕	土 〔kg〕	水 〔kg〕	起泡剤 〔kg〕	希釈水 〔kg〕	フロー値 〔mm〕	一軸圧縮強さ 〔N/mm ² 〕	空気量 〔%〕	湿潤密度 〔t/m ³ 〕
C250S250	250	250	355	1.57	21.98	200	2080	45	0.88
C300S200	300	200	340	1.63	22.82	200	2700	46	0.86
C300S150	300	150	320	1.76	24.64	200	1930	50	0.80
C300S100	300	100	300	1.89	26.46	200	1280	54	0.73
C350S200	350	200	350	1.54	21.56	200	2950	44	0.92
C350S150	350	150	315	1.72	24.08	200	2830	49	0.84
C350S100	350	100	305	1.81	25.34	200	1860	52	0.78
C400S150	400	150	330	1.61	22.54	200	4080	46	0.90
C400S100	400	100	310	1.74	24.36	200	3200	50	0.84

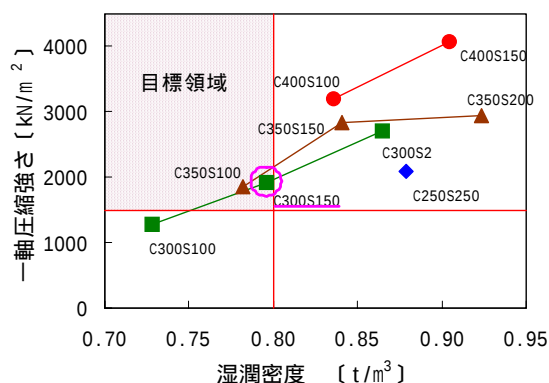


図-3 室内配合試験結果

3.4 小規模モデル試験

小規模モデル試験では、アプローチ盛土部の施工を模擬したモデル施工試験を実施し、急速施工のために不可欠である打設高さ 1 日 1m の施工速度での連日施工の可能性、側方土圧の消散状況、硬化後の気泡混合軽量土の強度などについて、各種計測により確認した。

(1) 試験の規模および計測項目

モデル試験はアプローチ盛土施工の一部分を模擬することでその施工性等を確認することを目的としており、試験の規模は 1.8m（たて）× 1.8m（よこ）× 2.1m（高さ）= 6.8m³ の直方体試験体（図-4）とし、気泡混合軽量土の打設は打設高さ 1.0m/日で 2 日間連日施工という小規模の試験とした。

計測に関しては、気泡混合軽量土の打設中および打設後の養生期間において、壁面に作用する側方土圧と壁材の水平変位量の経時変化を測定した（図-5、図-6）。



図-4 モデル試験供試体と実施状況

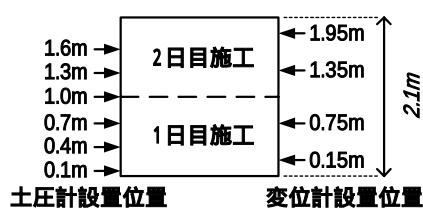


図-5 計測器配置図

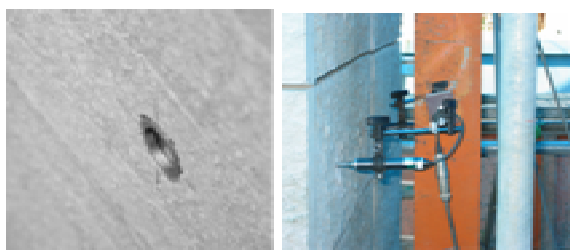


図-6 土圧計及び変位計設置状況

(2) 試験結果

比重、フロー値、空気量といった硬化前の材料性状は目標としていた基準値を十分に満たしており、施工中の気泡の消泡はほとんどないことが確認できた（表-2）。

壁材に作用する側方土圧の経時変化（打設開始～1時間後まで、打設開始～1日後まで）を図-7に示す。打設直後は静水圧状態の泥水圧（〔泥水密度 $0.8\text{t/m}^3 \times$ 打設高さ〕相当の泥水圧、図-7の上図中に実線で併記）が壁材に作用するが、打設から1日経過後はほとんど消散することが確認された。

壁材の水平変位の経時変化（打設開始～1時間後まで、打設開始～1週間後まで）を図-8に示す。打設中、壁材

は膨張方向に変位しているが、その後は静止している。また、壁材の変位量は最大でも4mm程度とかなり小さい値であった。これは壁面に作用する側方土圧が打設1日後には消散することによるものであり、L型鋼といった簡易なアンカー等により壁材の安定が十分に保たれていることが確認された。

表-2 硬化前の材料の性状

試験日	バッチ	比重	フロー値 〔mm〕	空気量 〔%〕
7/30	1	0.8	192	50
	2	0.8	181	50
	3	0.8	176	50
7/31	1	0.81	182	50
	2	0.82	179	50
	3	0.82	173	50

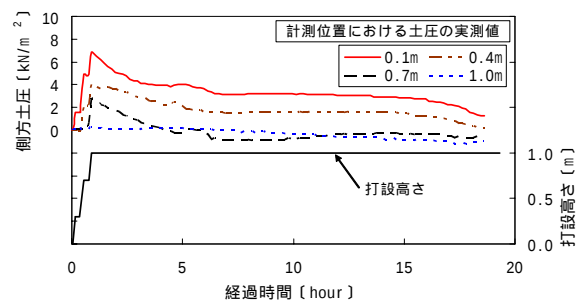
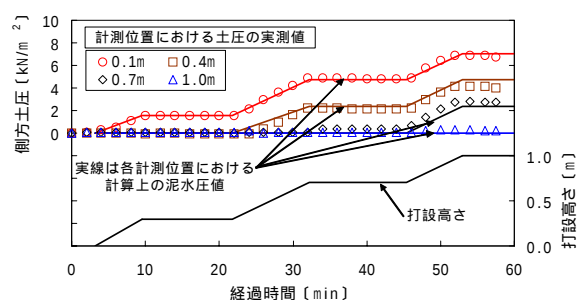


図-7 側方土圧の経時変化

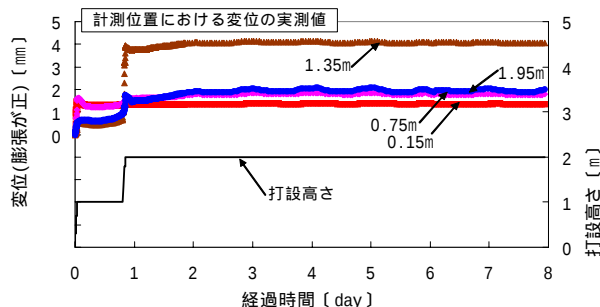
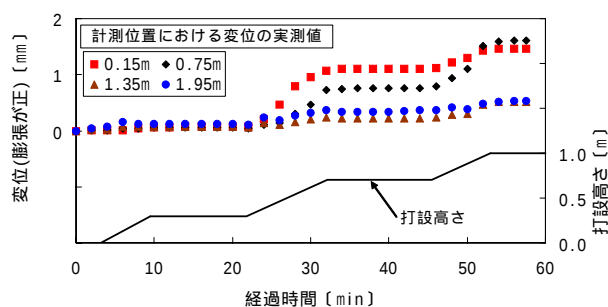


図-8 壁材の水平変位の経時変化

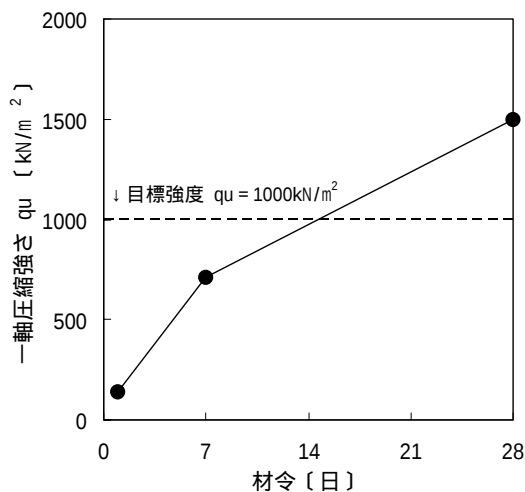


図-9 一軸圧縮試験結果

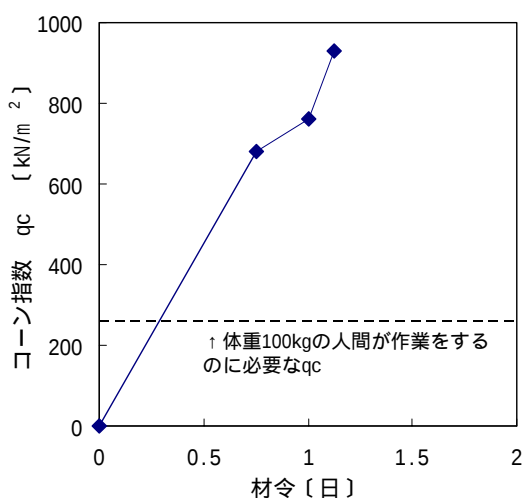


図-10 コーン貫入試験結果

一軸圧縮強さおよびコーン指数の経時変化を図-9、図-10に示す。一軸圧縮強さは、材齢28日で目標値である $qu=1000\text{kN/m}^2$ を満足した。コーン指数は、体重100kgの人間が作業可能な強度として設定した $qc=260\text{kN/m}^2$ を材齢1日で十分に満足しており、軽量盛土上での人力による壁材運搬等が連日打設の条件下においても可能であることが確認された。

3.5 細粒分の多い材料に対する配合検討

JHの指針では、気泡混合軽量土に用いる発生土の細粒分含有率 (F_c) を15%以下とすることを標準としているため、細粒分含有率が大きい発生土を用いる場合には独自の検討が必要とされる。一方、そういった細粒分含有率の大きな土への対応策として、流動化処理土において一般的に用いられる技術(調整材の使用による品質の向上等)の適用が考えられる。それらの確認のために以下に示す一連の配合試験を実施した。

(1) 使用材料と手順

試験に用いた模擬発生土の粒度分布を図-11に示す。模擬発生土は珪砂2~8号、珪粉およびカオリンを混合して作成した。表-3は小規模モデル試験で用いた $F_c=43\%$ の発生土に対する基本配合であり、この配合をもとに F_c (10, 30, 50, 70, 90%)、調整材置換率 (0, 40, 60%) をパラメータとして試験を実施した。調整材としては高炉スラグを一例として選定した。

試験では同フロー値での物性を比較することを目的に、フロー値 $200\text{mm} \pm 20\text{mm}$ を目標値とし、そのフロー値を満足した配合に対して、湿潤密度および一軸圧縮強さを求めた。

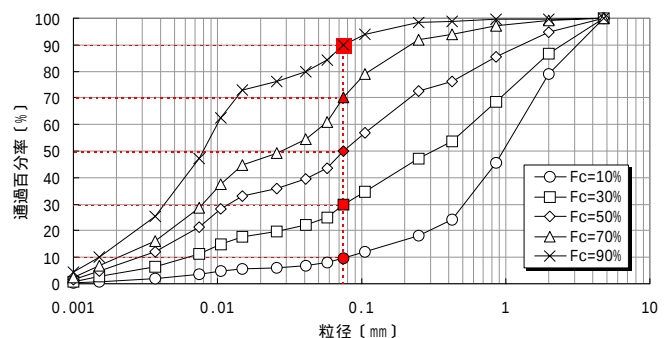


図-11 模擬発生土の粒度分布

表-3 基本配合表

配合略号	セメント (kg)	土 (kg)	水 (kg)	起泡剤 (kg)	希釈水 (kg)	フロー値 (mm)	一軸圧縮 強さ (N/mm^2)	空気量 (%)	湿潤密度 (t/m^3)
C300S150	300	150	320	1.76	24.64	200	1.93	50	0.80

(モデル試験と同じ配合)

(2) 試験結果

図-12はフロー値 $200\text{mm} \pm 20\text{mm}$ を得る配合の材料について、横軸を湿潤密度、縦軸を一軸圧縮強さとして試験結果を整理したものである。

高炉スラグを置換率 $0 \rightarrow 40 \rightarrow 60\%$ で普通セメントと置換した際のフロー値の増減は顕著ではなく、その結果、湿潤密度は大きく変わらない状態で一軸圧縮強さが増加した。これにより高炉スラグによる置換の効果が明確になり、固化材はJH指針で標準仕様となっている高炉セメントB種(高炉スラグ置換率30~60%)、あるいはより強度を求める場合は高炉セメントC種(高炉スラグ置換率60~70%)が気泡混合軽量土に適していることが確認された。

細粒分含有率 (F_c) の違いに着目すると、 F_c が大きな発生土を用いた気泡混合軽量土の場合は、 F_c の小さい発生土を用いた気泡混合軽量土と同じ配合で試験を実施しても、フロー値が小さくなり目標とするフロー値が得られなかった。このような場合には、フロー値を大きくするために、セメントと土の量を固定した状態で水量を増やし、同時に気泡量を減らす必要がある。これにより、

単位体積重量が大きくなり、その結果、強度は大きくなる。

発生土を用いた気泡混合前のセメント混合土は、使用する材料が同じであることから、流動化処理土と同等の性状を持つものであり、流動化処理土の場合と同様に、高炉スラグ（その他フライアッシュなどが考えられる）等の調整材を配合することで、強度や密度、流動性といった気泡混合軽量土の物性を調整することが十分可能であることが確認できた。

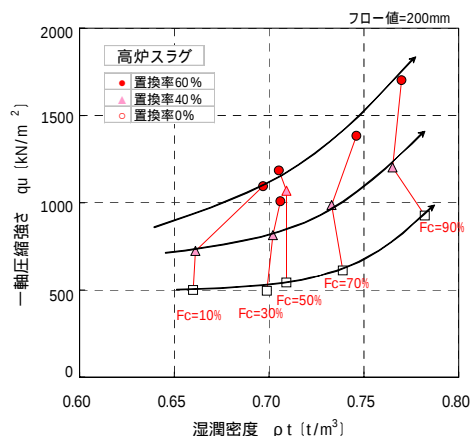


図-12 室内配合試験結果

(3) 配合設計手法の提案

図-13 に気泡混合前後の気泡混合軽量土のフロー値と空気量の関係を模式的に示す。加える気泡量（空気量）と気泡混合前後におけるフロー値の変化には一義的な関係があり、気泡混合前のセメント混合土のフロー値と加える気泡量が分かれば、気泡混合後の気泡混合軽量土のフロー値が推定できる。例えば、図中に示すように気泡量 40% の場合は、気泡混合前のフロー値は 200mm であるが、気泡を混合することによりフロー値は 120mm となる。固化材や起泡剤などの種類やセメント混合土の配合によって図中の傾きなどはある程度異なってくるが、同配合のセメント混合土では、気泡混合前後でこの関係は成立すると考えられる。よって、気泡混合前のセメント混合土の段階での品質管理項目として、流動化処理土の場合と同様に、フロー値を測定しておくことで、より簡便な気泡混合軽量土の品質管理が可能となると考える。

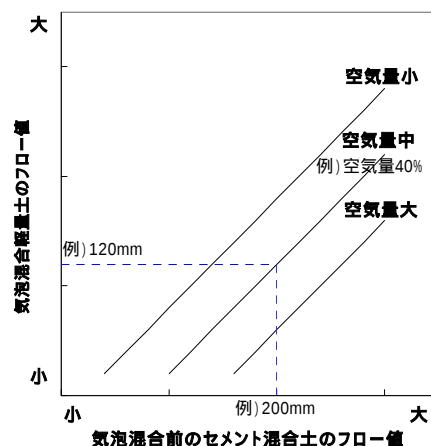


図-13 気泡混合前後のフロー値の変化

4. おわりに

幅広い性状の発生土の使用が可能な気泡混合軽量盛土によるアプローチ部の構築方法を考案し、狭いエリアでの急速施工が求められる道路立体交差への適用性を考察した一連の検討により得られた成果を以下に示す。

試設計を通した検討により、発生土を用いた気泡混合軽量土を用いることで、盛土体の安定および地盤全体の安定等の要件を満たすアプローチ盛土部の構築が可能であることが確認された。

小規模モデル試験の実施により、細粒分含有率 40% 以上の発生土を用いた気泡混合軽量土であっても、強度等の道路盛土としての必要性能を十分に満足することが可能であり、急速施工において懸念された気泡混合土上での連日作業に支障のない強度が確保できることが確認された。また、壁面変位などの経時変化から、材齢 1 日で壁材は安定し、盛土は十分に安定することが示された。

細粒分含有率の多い発生土に対しては、流動化処理土の場合と同様、高炉スラグ等の調整材を配合することで、気泡混合軽量土の品質（強度、密度、流動性など）を向上させることが可能であることが確認された。

参考文献

- 1) 日本道路公団：気泡混合軽量土を用いた軽量盛土工法の設計・施工指針，1996。