

音威子府バイパスにおける蛇紋岩の盛土利用について － セメント改良検討・施工状況 －

旭川開発建設部 士別道路事務所 第3工務課

○ 谷 祥吉
荒川 大輔
湯浅 浩喜

現在建設中の音威子府バイパスでは、神居古潭構造帯を通過する長大トンネル2本から、蛇紋岩の掘削ズリが発生している。蛇紋岩ズリは、脆弱化し易い性状から盛土への利用が困難と考えていたが、建設リサイクルの観点から、固化材配合により盛土への利用を計画・検討し、事業進捗の円滑化を図った。

本報告は、蛇紋岩の固化材配合の検討結果と現地の施工状況を取り纏めたものである。

キーワード：蛇紋岩、盛土、配合試験、建設リサイクル

1. はじめに

一般国道40号音威子府バイパスは、雪崩による特殊交通規制区間を解消し、道路交通の定時性や安全性の向上や現道の交通事故低減を目的とした、中川郡音威子府村字音威子府から中川郡中川町字誉に至る延長19.0kmの一般国道のバイパス事業である。現在、図-1に示すバイパスの4本のトンネルのうち、起点側の3本は掘削完了し、終点の音中トンネルが掘削施工中である。

本路線の基盤地質は、上部蝦夷層群西知良内層の泥岩、中部蝦夷層群佐古丹別層の砂岩、空知層群の玄武岩類・珪質頁岩・砂岩、及びそれらに貫入した北海道中軸部神居古潭構造帯の一部をなす蛇紋岩等で構成されており、音威子府トンネルと音中トンネルの区間に蛇紋岩が分布している。

本路線に分布する蛇紋岩の性状は、概ね塊状・葉片状・粘土状に3区分されており、ボーリングコアにおける各々の外見は写真-1に示す通りである。音威子府トンネルの蛇紋岩は、塊状～葉片状を主体としているが、音中トンネルでは、葉片状～粘土状が大半を占める。

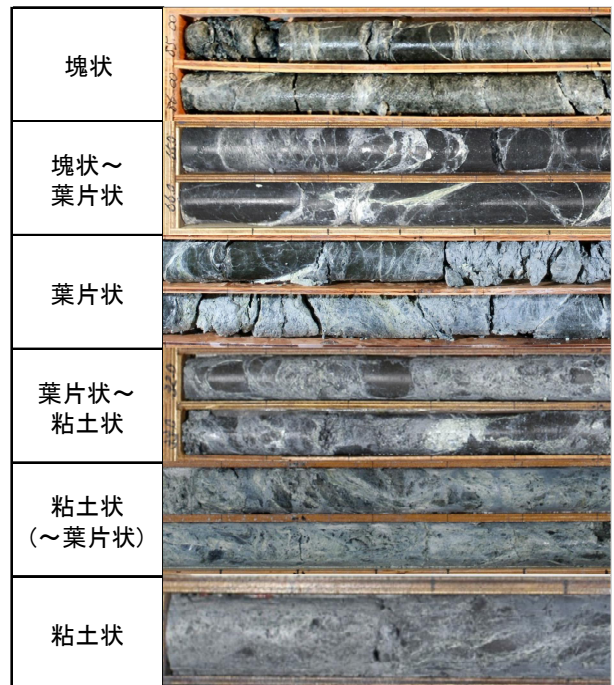


写真-1 蛇紋岩のボーリングコア性状

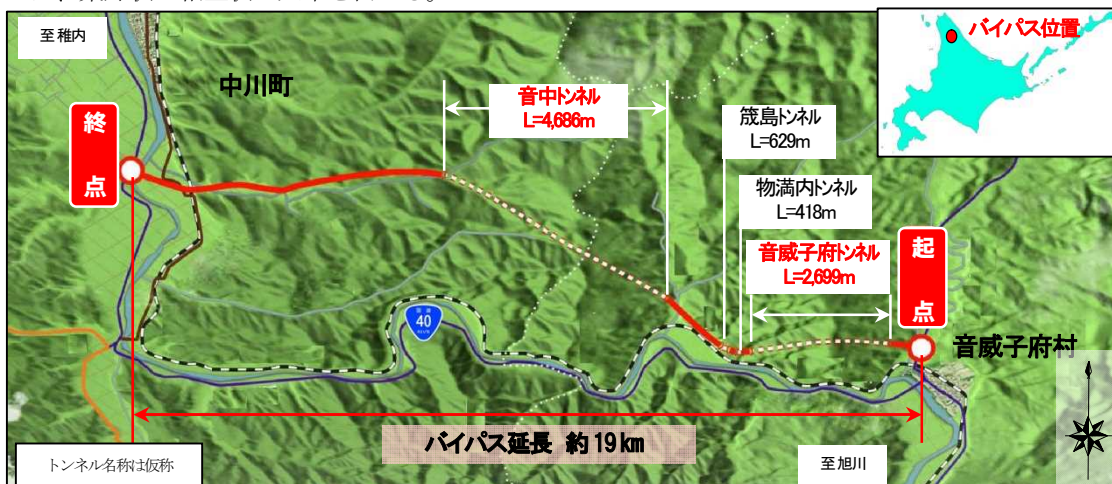


図-1 音威子府バイパス全体図

2. 蛇紋岩の盛土利用の背景

「北海道における不良土対策マニュアル」(独)土木研究所寒地土木研究所、2014) (以下、「不良土マニュアル」と記載)では、蛇紋岩はその性状から不良土として扱われることが多く、蛇紋岩の粘土化したもの(写真-2)は一般に捨土する、としている。

本路線においては、当初は蛇紋岩を路体外盛土又は捨土する計画としていたが、蛇紋岩の掘削ズリが予定以上に発生したことにより、路体外盛土で処分出来ない等の問題が発生したため、建設リサイクルの観点から極力現場内で利用する方法を検討すべきと判断し、固化改良による盛土への流用を計画した。

現在、蛇紋岩のトンネル掘削ズリは、路線上的下記3箇所に仮置きされている(写真-3～5)。①～②は音中トンネルの掘削ズリで、③は音威子府トンネルのものである。

- ① 音中トンネル起点(坑口ヤード～橋梁間)(写真-3)
- ② 箆島仮置き場(整地された本線上)(写真-4)
- ③ 音威子府IC(ランプ内)(写真-5)

平成28年度4月時点における蛇紋岩の発生土量は約33,000m³、今後の発生量は約24,000m³と見込まれており、蛇紋岩ズリの総量は約57,000m³となる。



写真-2 粘土化した蛇紋岩(音中トンネル起点)



写真-3 音中トンネル起点



写真-4 箆島仮置き場



写真-5 音威子府IC

3. 検討方法と設計基準

(1) 検討方法

蛇紋岩の路体盛土への流用検討は、「不良土マニュアル」に準拠した。

検討手順は、以下の2段階で実施した。

- ・室内配合試験
固化材の種類、配合量の目安を決定
- ・現地試験施工

室内配合試験結果を基に試験施工を行い、最終的な配合量と施工管理基準を決定する。

(2) 設計基準

盛土材料として求められる改良の目標強度と環境上の目標値を以下に示す(「不良土マニュアル」より)。

- ・コーン指数 q_c : $\geq 300 \text{ kN/m}^2$
- ・一軸圧縮強度 q_u : $\geq 110 \text{ kN/m}^2$
- ・六価クロム溶出量 : $\leq 0.05 \text{ mg/l}$

一軸圧縮試験は7日強度(6日間空中養生・1日水浸)、使用した固化材は以下の3種である。

- ・生石灰
- ・セメント系固化材(一般軟弱土用)
- ・高炉セメントB種

4. 室内配合試験

(1) 試験試料の状態

蛇紋岩の固化改良時の発現強度に最も影響を及ぼす要素として、自然含水比が挙げられる(表-1参照)。

平成24年度に発生した音中トンネル起点(試料No. 音中-1~3)のズリは、自然含水比が $W_n=24\sim 179\%$ とバラつきが大きく、ほぼ泥濘化した状態の試料も含まれる。

また、平成25年度に発生した、箆島仮置き場(試料No. 箆島-1~3)のズリは、3試料とも $W_n=15\%$ 程度で、ほぼ均一な含水状態にある。

(2) 生石灰

生石灰の配合試験結果を表-1に示す。

高含水の音中-1以外の試料において、配合量 50kg/m^3 でコーン指数の目標強度を満足する結果を得た。しかし、一軸圧縮強度試験については、6日間養生後の1日水浸の段階で試料が崩壊し、試験を実施できない状態となった。蛇紋岩が吸水によって膨張・泥濘化し易い性状が原因と考えられる。

以上より、生石灰は使用できないと判断した。

表-1 生石灰：室内配合試験結果

試料No. (自然含水比)	配合量 (kg/m ³)	コーン指数試験		一軸圧縮強度試験	
		qc (kN/m ²)	qc \geq 300	qu (kN/m ²)	qu \geq 110
音中-1 ($W_n=179\%$)	50	0	×	—	×
	100	15	×	—	×
	150	22	×	—	×
	200	44	×	—	×
音中-2 ($W_n=30\%$)	50	446	○	試験不能	×
	100	816	○	試験不能	×
	150	1610	○	試験不能	×
	200	1741	○	試験不能	×
音中-3 ($W_n=24\%$)	50	1248	○	試験不能	×
	75	1741	○	試験不能	×
	100	1741	○	試験不能	×
	150	1741	○	試験不能	×
箆島-1 ($W_n=14\%$)	50	1741	○	試験不能	×
	75	1741	○	試験不能	×
	100	1741	○	試験不能	×
	150	1741	○	試験不能	×
箆島-2 ($W_n=16\%$)	50	1741	○	試験不能	×
	75	1741	○	試験不能	×
	100	1741	○	試験不能	×
	150	1741	○	試験不能	×
箆島-3 ($W_n=16\%$)	50	1741	○	試験不能	×
	75	1741	○	試験不能	×
	100	1741	○	試験不能	×
	150	1741	○	試験不能	×

※qc=1741kN/m²は測定限界

(3) セメント系固化材(一般軟弱土用)

セメント系固化材の配合試験結果を表-2に示す。

高含水の音中-1以外の試料においては、おおむね配合量 25kg/m^3 でコーン指数の目標強度を満足する結果を得た。

一軸圧縮強度試験の結果を図-2に示す。

$W_n=20\sim 30\%$ (音中-2・3)の場合、少量の配合量 $25\sim 30\text{kg/m}^3$ で目標強度となる。 $W_n=15\%$ 程度(箆島-1~3)の場合

合で $100\sim 140\text{kg/m}^3$ で目標強度になる。これらの配合量は高炉Bセメントの配合量(表3参照)と同等~60%増の値になるため、単価が高いセメント系固化材を使用する優位性は無いと判断した。

表-2 セメント系固化材：室内配合試験結果

試料No. (自然含水比)	配合量 (kg/m ³)	コーン指数試験		一軸圧縮強度試験	
		qc (kN/m ²)	qc \geq 300	qu (kN/m ²)	qu \geq 110
音中-1 ($W_n=179\%$)	200	15	×	—	×
	400	18	×	—	×
	600	22	×	—	×
	800	33	×	—	×
音中-2 ($W_n=30\%$)	50	352	○	204	○
	100	395	○	549	○
	150	442	○	1101	○
	200	500	○	2078	○
音中-3 ($W_n=24\%$)	25	772	○	134	○
	50	925	○	415	○
	75	990	○	650	○
	100	1073	○	992	○
箆島-1 ($W_n=14\%$)	25	1741	○	試験不能	×
	50	1741	○	試験不能	×
	75	1741	○	試験不能	×
	100	1741	○	38	×
箆島-2 ($W_n=16\%$)	25	1741	○	試験不能	×
	50	1741	○	試験不能	×
	75	1741	○	55	×
	100	1741	○	113	○
箆島-3 ($W_n=16\%$)	25	1741	○	試験不能	×
	50	1741	○	試験不能	×
	75	1741	○	試験不能	×
	100	1741	○	65	×
200	1741	○	254	○	

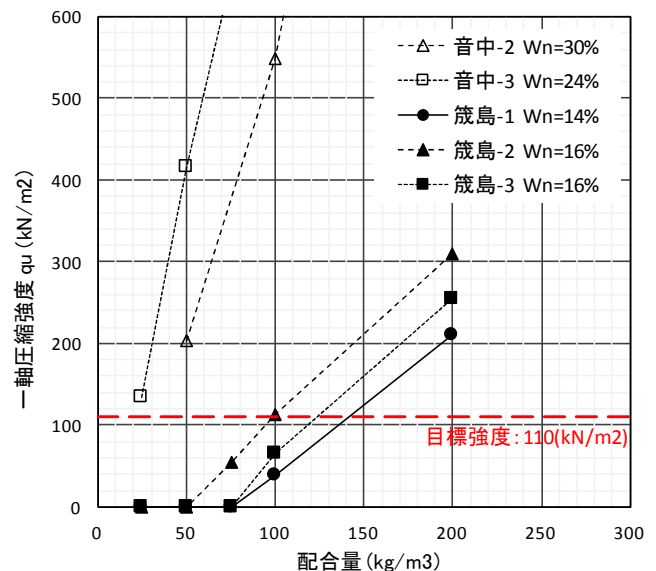


図-2 セメント系固化材：一軸圧縮強度試験結果

(4) 高炉セメントB種

生石灰、セメント系固化材の試験からも解るように、含水比の影響が顕著なこと。また、仮置土は、様々な含水状態にあることが想定されたため、音中2の試料を使って含水調整した試料(音中-2' : $W_n=40\%$ 、音中-2'' :

Wn=50%)を作成し、平成23年度から3年間で発生した、音威子府トンネルのズリについても試験を実施した。

音威子府IC(試料No. 音威子府)は、掘削後からの放置期間が最も長いこともあり、Wn=11%と乾燥していた。

高炉セメントB種の配合試験結果を表-3に示す。

コーン指数は、Wn \leq 30%の場合において、少量の配合量(25~50kg/m³)で十分な改良効果が発揮されているのに対し、Wn \geq 40%になると目標強度を満足できない結果を得た。つまり、Wn \geq 40%以上の場合には、トラフィカビリティ確保が困難になるため、高炉セメントB種は使用できないことになる。

一軸圧縮強度試験の結果を図-3に示す。

Wn=20~30%(音中-2・3)の場合に少量の配合量25kg/m³で目標強度が発現している。Wn=15%程度(箴島-1~3)の場合で60~110kg/m³、Wn=10%程度(音威子府)まで下がると160kg/m³必要となる。

六価クロムの溶出量は、いずれも基準値以下である。

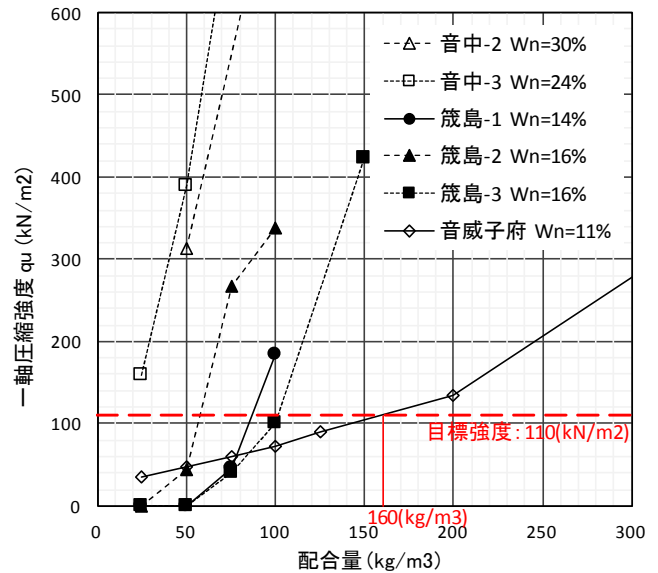


図-3 高炉セメントB種：一軸圧縮強度試験結果

表-3 高炉セメントB種：室内配合試験結果

試料No. (自然含水比)	配合量 (kg/m ³)	コーン指数試験		一軸圧縮強度試験	
		qc (kN/m ²)	qc \geq 300	qu (kN/m ²)	qu \geq 110
音中-1 (Wn=17%)	50	0	×	10	×
	100	0	×	21	×
	150	0	×	45	×
	200	0	×	82	×
音中-2 (Wn=30%)	50	355	○	314	○
	100	392	○	780	○
	200	446	○	2109	○
	300	602	○	3954	○
音中-2' (Wn=40%)	200	192	×	1624	○
音中-2'' (Wn=50%)	200	131	×	1560	○
	300	160	×	2825	○
	400	167	×	4486	○
	600	257	×	8581	○
音中-3 (Wn=24%)	25	707	○	159	○
	50	791	○	390	○
	75	899	○	725	○
	100	979	○	1053	○
箴島-1 (Wn=14%)	25	1741	○	試験不能	×
	50	1741	○	試験不能	×
	75	1741	○	46	×
	100	1741	○	184	○
箴島-2 (Wn=16%)	25	1741	○	試験不能	×
	50	1741	○	44	×
	75	1741	○	267	○
	100	1741	○	338	○
箴島-3 (Wn=16%)	25	1741	○	試験不能	×
	50	1741	○	試験不能	×
	75	1741	○	40	×
	100	1741	○	100	×
	150	1741	○	423	○
音威子府 (Wn=11%)	25	551	○	36	×
	50	1115	○	47	×
	75	1538	○	60	×
	100	1741	○	73	×
	125	1741	○	90	×
	200	1741	○	135	○
400	1741	○	422	○	

(5) 室内配合試験のまとめ

室内配合試験の結果から、使用する固化材は高炉セメントB種が選定される。また、本路線に分布する蛇紋岩について、以下の性状が確認された。

- 自然含水比によって必要配合量が大きく変化する。
- 自然含水比が40%を超える場合は、配合量を多くしてもトラフィカビリティ確保が困難になる。

上記内容を具体的に示す試験結果について、相関図を図-4に示す。本図は、高炉セメントB種の配合量200kg/m³と100kg/m³の場合について、自然含水比とコーン指数・一軸圧縮強度の相関をまとめたものである。配合量は異なるものの、両配合とも共通した以下の傾向を示している。

1) トラフィカビリティは、Wn \leq 25%まではqc \geq 1000kN/m²程度の非常に良好な値を示すが、Wn=30%でqc=400kN/m²程度まで値が急激に低下、Wn \geq 40%になると目標強度のqc=300kN/m²を満足できなくなる。

2) 一軸圧縮強度については、Wn=20~35%の条件下で最も固化材の効きが良く、Wn<20%になると強度発現が急激に悪くなる。

上記1)は、含水比の増加によって泥濘化し易い蛇紋岩の性状に起因する現象と考えられる。2)については、蛇紋岩の性状も寄与している可能性もあるが、セメント自体の性状が主原因と考えられる。含水比が低い場合、セメントを水和反応で固化させるだけの水が不足していると推測できる。

以上より、蛇紋岩のセメント配合を行う場合は、改良前の状態の自然含水比を把握することが最も重要となる。特にWn \geq 35%の場合は、セメント配合してもトラフィカビリティを確保出来ず、かつ強度が発現しなくなる。

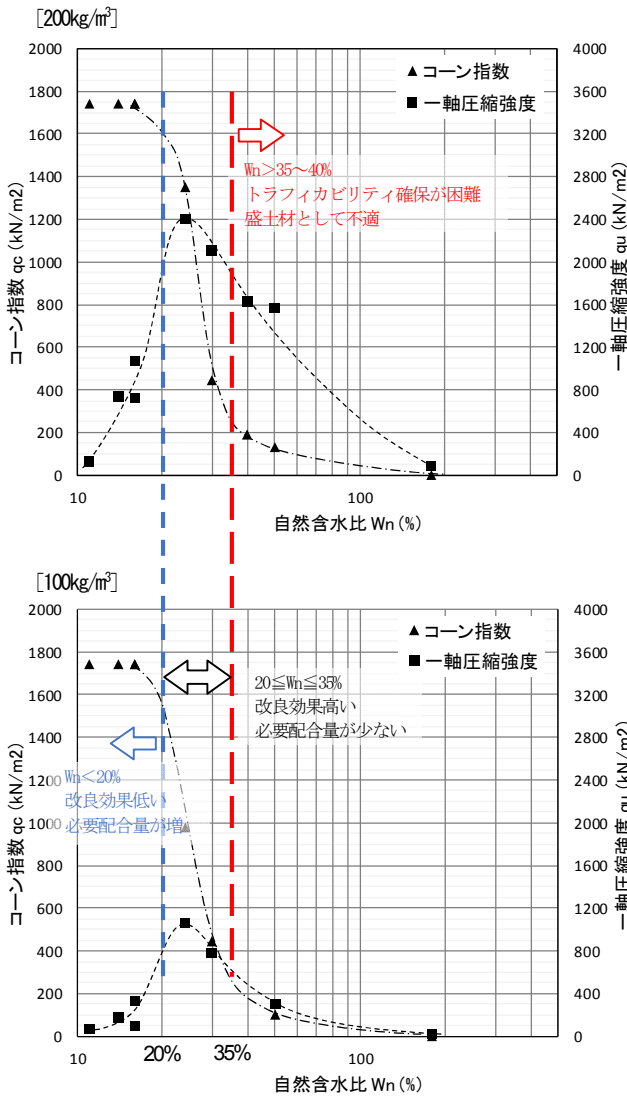


図-4 Wn- q_c , q_u 相関図
(上：配合量200kg/m³、下：100kg/m³)

5. 現地試験施工

(1) 試験施工の条件

平成28年度工事において盛土材として使用したのは、自然含水比が最も低い音威子府ICの蛇紋岩である ($W_n=11\%$)。前節の室内配合試験の結果を踏まえ、一軸圧縮強度の基準を満たした試料は、コーン指数も基準を満たしているため、一軸圧縮強度による現地での試験施工を行い、固化材の配合量と転圧回数等の検討を行った。

現地施工では、一軸圧縮強度試験による管理は難しいため、現地で直接結果を得られる衝撃加速度試験を用いる計画とし、一軸圧縮強度の目標値 $q_u=110\text{kN/m}^2$ に相当する衝撃加速度を求めた。

試験施工の仕様と管理基準値は、以下の通りである。

- ・ 固化材(高炉セメントB種)の配合量
124kg/m³、160kg/m³、196kg/m³の3配合
- ・ 転圧機械及び転圧回数
11t級振動ローラ

2回、4回、6回の3パターン

- ・ 固化材との混合方法
移動式プラント
- ・ 管理基準値

図-5に示す一軸圧縮強度と衝撃加速度の相関(音威子府ICの試料を用いた室内試験)から設定
衝撃加速度： $I \geq 105G$

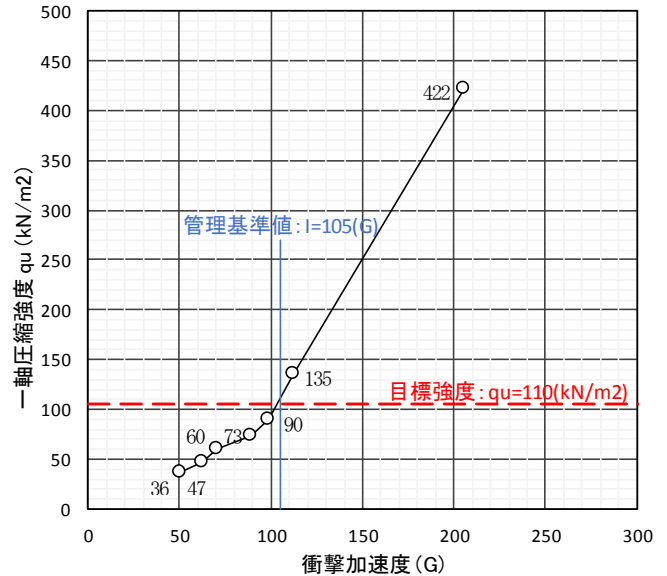


図-5 一軸圧縮強度と衝撃加速度の相関

(2) 試験施工

平成28年度工事に使用する、同一の移動式プラントで混合した材料を用い、一軸圧縮試験を行った結果を図-6に示す。室内配合試験では、必要配合量160kg/m³だったが、現地施工ではその80%の128kg/m³で目標強度に達する結果を得た。

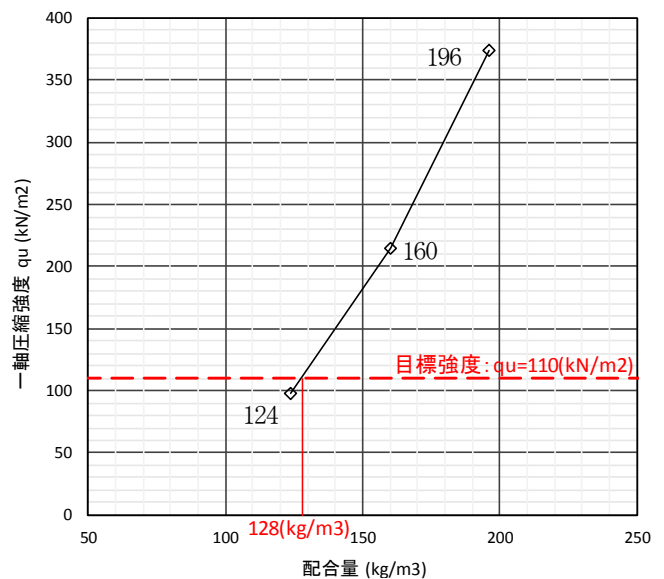


図-6 試験施工による必要配合量

