

極若材齢における超高強度吹付けコンクリートの圧縮強度とヤング係数の発現性

大成建設（株）生産技術開発部 正会員 ○川口 哲生，武田 均
大成建設（株）社会基盤研究部 正会員 谷 卓也，水野 史隆
大成建設（株）土木設計部 正会員 横畑 友幹

1. はじめに

山岳トンネル工事で用いる吹付けコンクリートは、掘削中のトンネル形状を維持するために施工する支保工の一部であり、掘削したトンネルの変形度合いに応じ、適切な強度の吹付けコンクリートが使用される。これまでは、普通強度として 18N/mm^2 、高強度として 36N/mm^2 の吹付けコンクリートが用いられてきたため、脆弱な地山や高い圧力が作用する地山など、条件が厳しい状況では、支保工を二重に用いる等の対策が必要となり、施工時の作業効率の低下や安全性の確保が重要な課題であった。そこで、筆者らは、 100N/mm^2 級の圧縮強度を有する超高強度吹付けコンクリートを開発した¹⁾。超高強度吹付けコンクリートを適用した支保構造の設計について、より合理化を図るためには、極若材齢における圧縮の発現性とヤング係数の発現性を把握することが重要であるため、本研究では、超高強度吹付けコンクリートの極若材齢における圧縮強度とヤング係数の発現性について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 示方配合と試験体製作

表-1 に示方配合とコンシステンシー試験結果を示す。本研究では、急結剤を用いずに成型した試験体（以降、ベースコンクリートと表記）を用いて検討を行った。材料は、水、専用プレミクス粉体、粗骨材、細骨材、高性能減水剤、専用有機繊維から構成されるものである。ここでは、コンクリートフロー（JIS A 1150）が $700\pm 50\text{mm}$ の範囲となる様に、高性能減水剤の添加量を設定した。また、極若材齢において、脱型が容易になるように、鋼製型枠の内面にテフロンシートを貼り付け、コンクリートを打ち込んだ後、雰囲気温度 20°C の恒温室内にて封かん養生を行って試験に供した。

2.2 極若材齢の試験方法

表-2 に、試験材齢と試験体本数を示す。本研究では材齢は注水時刻からの経過時間とし、各材齢において、圧縮強度 f_c' 、ヤング係数 E_c を計測した。ここでは、試験体を成型した後、脱型が可能となり次第、直ちに強度試験を行っており、材齢 11.8 h より強度試験を開始した。図-1 に試験方法の概要を示す。試験体は $\phi 100\times 200\text{mm}$ の円柱供試体であり、谷らが実施した研究²⁾を参考に、コンプレッソメータを試験体に取り付け計測を行った。ここで、材齢 11.8 h から 14.8 h までは、インストロン型万能試験機を用いて、変位制御にて载荷を行っており、若材齢であるため、载荷速度は 0.1mm/min とし、試験体数は各材齢当り 1 体とした。材齢 19.3h から材齢 28 日については、JIS A 1149 に準じて試験を行った。ただし、材齢 19.3h では、 $n=2$ として試験を行った。

表-1 示方配合とコンシステンシー試験結果

単位量 (kg/m ³)						スランブフロー (JIS A 1150) (mm)	空気量 (%) JIS A 1128
水	セメント + 混和材	細骨材	粗骨材	高性能 減水剤	専用有機 繊維		
190	1118	693	462	13.4	22.5	758	2.8

表-2 試験材齢と試験体本数

試験材齢	試験体本数	
	万能試験機 による変位制御 (0.1mm/min.)	JIS A 1149
11.8 h	n=1	—
12.6 h		
13.2 h		
14.8 h		
19.3 h	—	n=2
22.9 h		n=3
24.9 h		
31.7 h		
34.1 h		
36.0 h		
28 日		

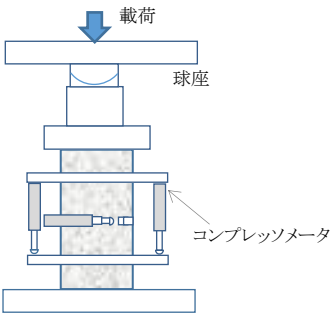


図-1 試験方法の概要

キーワード 超高強度吹付けコンクリート、極若材齢、圧縮強度、ヤング係数、経時変化
連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設 技術センター TEL045-814-7229

3. 実験結果

図-2 に材齢 11.8 h～36 h における圧縮応力-圧縮ひずみ関係を示す。同図より、最大圧縮応力時の圧縮ひずみは、材齢によって大きく変化するものの、最大圧縮応力の 1/3 となる点は、線形挙動を示す領域に存在していることがわかる。よって、ヤング係数は、JIS A 1149 に従って割線弾性係数とした。

表-3 に試験結果一覧として、全材齢における圧縮強度とヤング係数を示す。図-3 に圧縮強度、弾性係数と材齢の関係を示す。同図より、材齢 22.9 h で、圧縮強度は 30N/mm² 程度となり、材齢 28 日で 113N/mm² となった。また、材齢 11.8h までは圧縮強度とヤング係数は殆ど発現していないものの、材齢 11.8h 以降で急激に増大することがわかった。

図-4 にヤング係数と圧縮強度の関係を示す。また、一般のコンクリートにおける関係(クリープの影響を考慮するための低減係数:0.65)³⁾を比較として併記した(以降、土木学会式と表記)。さらに、これまでに、筆者らが、本材料を吹付けて製作した試験体⁴⁾より取得したヤング係数と圧縮強度についても併記した。同図より、ベースコンクリートでは、圧縮強度 10.3N/mm²(材齢 14.8h)までは、土木学会式によるヤング係数の算定値に対して、低くなった。ところが、圧縮強度が 23.3N/mm²(材齢 19.3h)～49.1N/mm²(材齢 36.0h)の範囲では、土木学会式による算定値とほぼ合致しており、材齢 28 日では、土木学会式による算定値よりも高いヤング係数を発揮することがわかった。また、吹付けて製作した試験体より得られたヤング係数と圧縮強度は、材齢によらず、今回取得したベースコンクリートと概ね同様の傾向を示していることがわかった。これらの結果より、本コンクリートは、吹付後 20 時間程度以内は、ヤング係数の発現が低いことから変形する地山に追従して変形する可能性があり、支保構築の合理化に有効と期待される。ただし、このような挙動を示す理由として、粗骨材量やマトリックスの構成材料が影響していると考えられるが、更なる検討が必要と考える。

4. まとめ

超高強度吹付けコンクリートを対象に、極若材齢における圧縮強度とヤング係数の経時変化、ヤング係数と圧縮強度の関係を把握することができた。その結果、ヤング係数の発現性は、従来のコンクリートを対象とした算定式と大きく異なる傾向を示した。

参考文献

(1) 川口ほか: 超高強度吹付けコンクリート(T-HPSC 100[®])の開発, 大成建設技術センター報, 第 53 号, 2020. (2) 谷 ほか: 硬化過程で変形を受けるコンクリートの強度・変形特性に関する実験, 土木学会年次学術講演会講演概要集, vol.60, V-352, pp.703-704, 2016. (3) 土木学会: 2002 年度制定, コンクリート標準示方書[施工編], pp.52-53, 2002 (4)川口ほか: 超高強度材の極若材齢における圧縮強度とヤング係数の発現性に関する研究, 第 73 回土木学会年次学術講演会, V-254,pp.507-508.2018

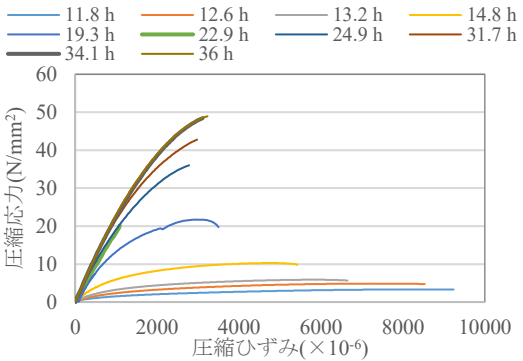


図-2 圧縮応力-圧縮ひずみ関係

表-3 試験結果一覧

材齢 (hr.)	圧縮強度 (N/mm2)	ヤング係数 (kN/mm2)
11.8h	3.32	1.42
12.6h	4.87	2.98
13.2h	5.89	4.32
14.8h	10.3	7.68
19.3h	23.3	17.1
22.9h	29.8	20.8
24.9h	37.2	21.9
31.7h	44.6	23.9
34.1h	48.0	24.3
36.0h	49.1	25.0
28 日	113	37.6

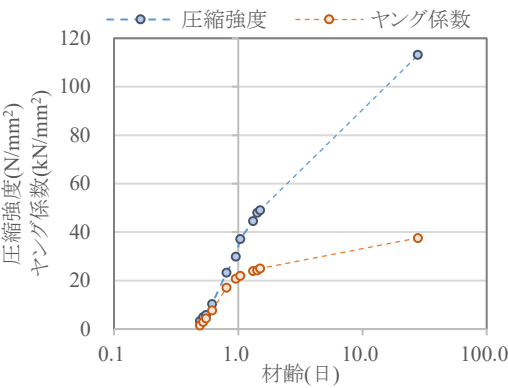


図-3 圧縮強度、ヤング係数と材齢の関係

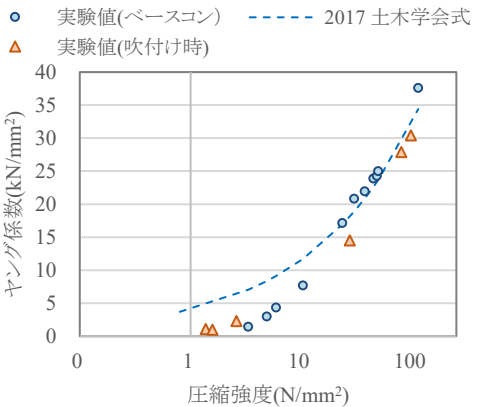


図-4 ヤング係数と圧縮強度の関係