

一軸圧縮試験における載荷速度がコンクリート物性に及ぼす影響

国立研究開発法人 土木研究所 正会員 〇菊地 浩貴， 正会員 日下 敦
国土交通省 国土技術政策総合研究所 藤原 茜 ， 正会員 近藤 健太

1. はじめに

筆者ら¹⁾は山岳トンネルの覆工の耐荷性能の評価手法の検討において、実大の覆工載荷実験とその再現解析を実施した。再現解析モデルの物性値に、円柱供試体の一軸圧縮強度試験で得られた物性値を適用し解析を実施すると、覆工載荷実験で得られた荷重変位曲線に対して傾きがやや大きくなることが確認されている。この原因として、実験装置や境界条件の影響以外に、適用した物性値の取得条件と載荷実験条件に差があることも考えられる。具体的には、圧縮強度試験は JIS A 1108 に基づき $0.6 \pm 0.4 \text{ N/mm}^2/\text{sec}$ の載荷速度で試験を行う、即ち数分程度で一軸圧縮強度に到達する一方で、覆工載荷実験は約 7 時間要し、載荷速度に換算すると約 $0.001 \text{ N/mm}^2/\text{sec}$ であり、載荷速度の違いが供試体の物性に一定の影響を及ぼしている可能性があると考えた。

一軸圧縮強度試験における載荷速度等の違いが物性に与える影響に関しては、載荷速度が低速であるほど一軸圧縮強度が低下すること、軸方向粘性係数が増加すること、一定の応力強度比を超えると圧縮クリープひずみが急増することが分かっている²⁾³⁾⁴⁾。しかしながら、今回想定するような超低速条件下における傾向は明らかでないことや、定量的に評価する手法は確立されていない。本報告では、覆工載荷実験¹⁾と同条件にて円柱供試体を作製し、載荷速度等をパラメータとした一軸圧縮強度試験を実施し、物性値に与える影響を検証するとともに、覆工載荷実験の再現解析に反映することで、構造全体系の解析結果に与える影響を確認した。

2. 試験概要

試験ケースを表-1 に示す。圧縮試験に用いる円柱供試体の寸法は $\phi 100 \text{ mm}$ 、高さ 200 mm 、配合は文献¹⁾を対象とした従来覆工および薄肉高強度覆工の配合と同等とし、それぞれ配合 A, B とした。圧縮試験および物性値の算定方法は JIS A 1108, 1149 に準拠するものとし、 $0.6 \pm 0.4 \text{ N/mm}^2/\text{sec}$ の載荷速度で実施する通常載荷と、覆工載荷実験と同様に約 7 時間で一軸圧縮強度に到達するよう $0.0009 \sim 0.001 \text{ N/mm}^2/\text{sec}$ の超低速で実施する低速載荷の 2 種類の載荷方法とした。試験は供試体の圧壊により圧縮応力がゼロになるまで実施し、圧縮応力の低下が確認されたステップ以降は約 100μ 毎に計測を行った。試験は覆工載荷実験と概ね同様の材齢および 28 日材齢で行うものとした。物性値は 3 体の試験結果を平均して評価した。ただし、低速載荷は 1 日 1 試験しかできないため、連続する 3 日間で取得した結果を平均することで評価した。

3. 試験結果

試験で得られた各種物性値、応力ひずみ曲線を表-2, 図-1 に示す。なお、複数体実施した場合は、ケース名の後ろに枝番を付した。応力ひずみ曲線より、載荷速度が低速である場合、応力強度比が 40～50%付近を境に圧縮ひずみが増加する傾向がみられる。また、一軸圧縮強度は 5～11%低下、ヤング率は 3～18%低下、最大荷重時ひずみは 10～40%増加した。同配合で比較した場合、case3-1, 2 など規定の材齢に満たない若材齢の方が、特に一軸圧縮強度で影響が大きい結果となった。ポストピークにおいては、低速載荷の方が圧縮ひずみの増加が比較的大きいが、明確な傾向はみられない。これらについては、載荷速度が低速である場合、高応力強度比の状態で長時間保持されるためマイクロクラックが進行しやすく変形が助長されることが要因であると考えられる。この影響は硬化途中にあり未水和領域が多く比較的大きな間隙が多い若材齢で影響が大きいと考えられる。

表-1 試験ケース

case	数量	配合	材 齢（日）	載荷速度
1-1	3	A 18-12-20N W/C=66%	28	通常
1-2	1			低速
2-1	3		40	通常
2-2	3	B 45-12-20N W/C=38%	40, 41, 42	低速
3-1	3		8	通常
3-2	3		8, 9, 10	低速
4-1	3		28	通常
4-2	1			低速

キーワード 覆工コンクリート，圧縮強度試験，載荷速度，山岳トンネル

連絡先 〒305-0032 茨城県つくば市南原 1-6 （国研）土木研究所 道路技術研究グループ（トンネル） TEL029-879-6791

4. 再現解析への反映

前節の結果を踏まえ、文献¹⁾の再現解析モデルの物性値を表-3 のとおり見直し再現解析を行った結果を図-2 に示す。一軸圧縮強度や断面形状の違いによらず、荷重変位曲線の傾きは一定程度改善された。一方で、実験結果に対して依然としてやや傾きは大きく、各荷重の段階で 2~5mm 程度実験値と誤差が生じている。荷重変位曲線の傾きの差の要因は、設定物性値の他に実験条件や装置の条件に起因する部分もあると想定される。なお、紙面の都合上省略するが、物性値の見直し後の解析においても、ひずみ分布や断面力分布による構造全体の破壊モード、MN 耐力曲線による断面の破壊モードの評価結果は実験値と整合することを確認している。

5. まとめ

- 一軸圧縮強度試験を超低速で実施した場合にコンクリート物性に与える影響を確認し、それらがトンネル覆工の構造解析にどの程度の影響を及ぼすか検討した。得られた知見を以下に示す。
- ・ 超低速条件下における圧縮試験により、一軸圧縮強度およびヤング率の低下、最大荷重時の圧縮ひずみの増加が確認され、特に一軸圧縮強度では、28 日に満たない若材齢でこの影響が大きい傾向が確認された。
 - ・ 上記の傾向を覆工載荷実験の再現解析に反映することで荷重変位曲線の傾きに一定の改善が確認された。
 - ・ 数値解析モデルの構築にあたっては、上記の影響を考慮して適切に物性値を設定することで、最大荷重だけでなく変位量の再現性も向上することが考えられる。

再現解析における荷重変位の傾きの差異については、今回明らかになった物性値の影響以外の要因も介在していると考えられ、それらの要因の究明は今後の課題である。

参考文献

1) 菊地浩貴, 日下敦, 砂金伸治, 佐々木亨, 巽 義知 : 山岳トンネルにおける覆工の耐荷性能の評価手法の提案, 土木学会論文集 F1, Vol178, No. 2, p. I1-I15, 2023. 2
2) 小山義行, 鈴木澄江, 早川光敬, 陣内浩 : 圧縮強度試験における荷重速度と強度レベルがコンクリート強度・変形性状に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 31, No. 1, 2009.
3) 大岸佐吉, 小野博宣 : 硬化過程におけるコンクリートの圧縮強度・変形に及ぼす載荷速度の影響, 材料, Vol. 29, No. 318, pp. 279-285, 1980.
4) 入矢桂史郎, 平本昌生, 服部達也, 梅原秀哲 : 若材齢コンクリートの圧縮クリープに関する研究, 土木学会論文集, No. 599/V-40, 1-14, 1998.

表-2 試験結果一覧

ケース	1-1 通常	1-2 低速	2-1 通常	2-2 低速	3-1 通常	3-2 低速	4-1 通常	4-2 低速
物性値								
圧縮強度 (N/mm ²)	24. 9	23. 1	25. 8	24. 5	37. 0	32. 9	43. 0	39. 1
弾性係数 (N/mm ²)	20. 7	18. 2	20. 0	16. 3	20. 5	19. 2	22. 2	21. 4
最大荷重時ひずみ (μ)	-2171	-2579	-2468	-3567	-2507	-3192	-2822	-3101
終局ひずみ (μ)	-2511	-4505	-3012	-3934	-2742	-3914	-3056	-3101
ポアソン比	0. 17	0. 19	0. 17	0. 14	0. 18	0. 21	0. 19	0. 21

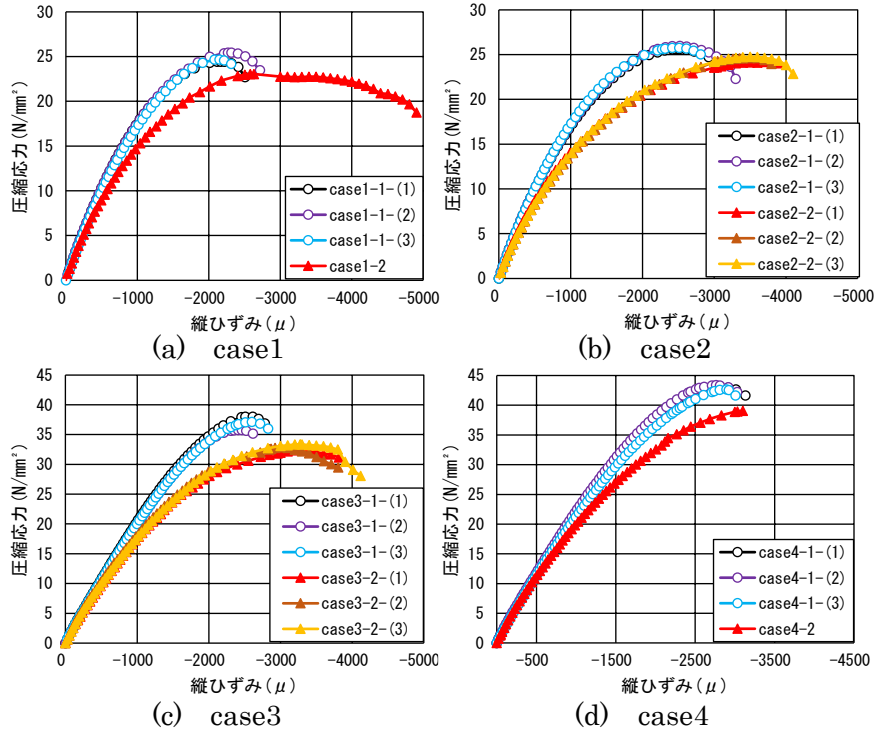


図-1 応力ひずみ曲線

表-3 解析物性値

	従来覆工		薄肉高強度覆工	
	実験 解析	解析 (見直し)	実験 解析	解析 (見直し)
圧縮強度 (N/mm ²)	25. 4	24. 0	43. 1	39. 0
最大荷重時 ひずみ (μ)	2200	3200	2600	3300

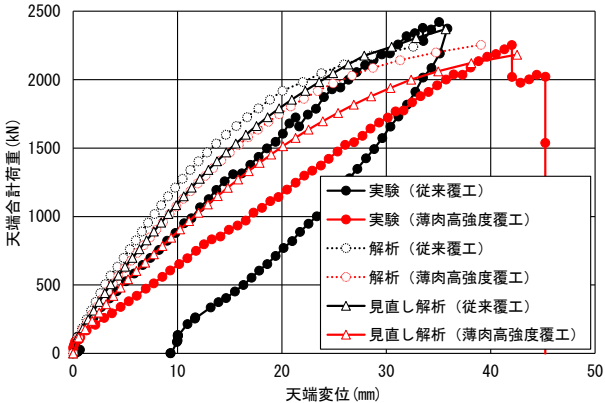


図-2 見直し解析結果 (荷重変位関係)