

論文 若材齢膨張コンクリートの引張強度評価のための基礎的実験

吉岡国和^{*1}・吉武 勇^{*2}・宮本圭介^{*3}・森重沢男^{*4}

要旨：一般的なシリンダー型枠を用いた膨張コンクリートの強度特性は、少なからず型枠の影響が含まれ、特に体積変化の著しい若材齢期においては、その影響が大きいものとなる。そこで本研究では、できるだけ実構造物における膨張コンクリートの引張強度特性を評価できるように、低剛性の塩化ビニール管による代替型枠を併用した若材齢膨張モルタルについて割裂引張強度実験を行い、従来の試験法との比較を試みた。その結果、膨張コンクリートの材料強度評価には型枠の影響があり、実際のコンクリート構造物の強度と異なる特性値を示す可能性が窺えた。

キーワード：膨張モルタル，若材齢，型枠，割裂引張強度

1. はじめに

膨張コンクリートの強度特性は、一般的なコンクリートと異なり、型枠などから外的拘束を受けるため、その程度によって影響を受けることが知られている¹⁾。シリンダー供試体を用いた強度試験は、そのコンクリートの材料特性を求める上で、比較的簡易で有効な手段ではあるが、膨張コンクリートのような材料では、このような型枠の影響も受けることから、実際のコンクリート構造物に比して極めて小さいシリンダー供試体の強度特性が、その代表特性にならない可能性も考えられる。

実構造物における膨張コンクリートは、周囲のコンクリートや型枠等で、何らかの変形拘束を受ける。しかしその拘束は、完全拘束というものではなく、その程度は部位や周辺環境によっても異なるものと予想される。

本研究は、できるだけ実構造物における膨張コンクリートの引張強度特性を適切に評価できる方法の提案を目的としている。本研究では市販の低剛性の塩化ビニール管を代替型枠として用い、且つこの型枠を装着した状態で若材齢膨張モルタルについて割裂引張強度実験を行った。

本論文は、従来の標準的な試験方法と比較しながら、本試験方法による割裂引張強度特性を示すものである。なお、著者らの研究¹⁾において、膨張コンクリートの割裂引張強度は粗骨材の影響を強く受けることを示しているため、本研究では基礎的実験の位置づけとして膨張モルタルを主に採用した。

2. 型枠種類の異なる割裂引張強度実験

2.1. 実験方法

本研究では、先ず型枠種類の影響を確認するため、材質の異なる 4 種類の市販型枠 ($d100 \times h200\text{mm}$) を用いて、膨張モルタルの割裂引張強度特性を調べた。本研究に用いた型枠は、JIS A 5308 付属書 5 に規定する軽量型枠タイプの (i) ブリキ製、(ii) プラスチック製、(iii) 合成紙製と一般的な 3 割式の (iv) 鉄製型枠である。本研究で用いた各種型枠を写真-1 に示すとともに、(i)～(iii) の軽量型枠については、ヤング係数および肉厚を表-1 に示す。

本研究では、(i)～(iv) の型枠を用いて、膨張モルタル供試体を製作し、それぞれ材齢 1・3・7 日における割裂引張強度実験を行った。ここ

*1 萩森興産(株) 技術部 博(工) (正会員)

*2 山口大学大学院 理工学研究科 准教授 博(工) (正会員)

*3 萩森興産(株) 宇部生コンクリート宇部工場 修(工) (正会員)

*4 萩森興産(株) 技術部 (正会員)



(i) ブリキ製型枠



(ii) プラスチック製型枠



(iii) 合成紙製型枠



(iv) 鋳鉄製型枠

写真－１ 使用した型枠 (φ100×h200mm)

表－１ 使用した型枠のヤング係数と厚さ

型枠の種類	ヤング係数* (N/mm ²)	厚さ (mm)
(i) ブリキ製	2.00×10^5	0.21
(ii) プラスチック製	1.54×10^3	2.07
(iii) 合成紙製	1.32×10^3	1.62

※(i) (ii) : 文献から算定 (iii) : 実験値

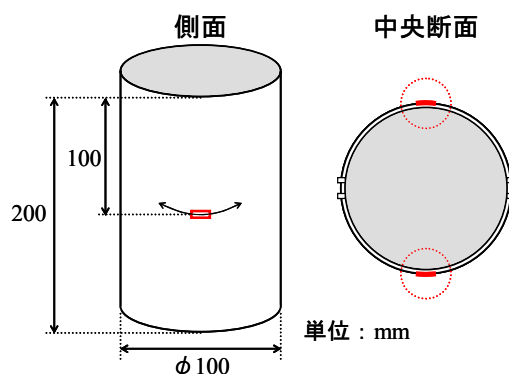
で、型枠種類の影響を調べる目的から、すべての供試体は割裂引張強度実験に供するまで脱枠せず、上端面のみ湿布養生を施した。さらに、型枠内に打設した膨張モルタルの膨張作用に与える型枠剛性の影響を比較するため、(i)～(iii)の軽量型枠には、図－１に示すように各型枠 2 枚ずつひずみゲージ(ゲージ長：10mm)を貼付し、周方向ひずみの計測を行った。

2.2. 使用材料と配合条件

本研究で作製した膨張モルタルの配合条件、使用材料をそれぞれ表－２、表－３に示す。本研究では、標準添加量 20kg/m^3 とする低添加型石灰系膨張材(E)を使用した。

2.3. 実験結果

剛性の異なる型枠を用いた膨張モルタルの



図－１ ひずみ計測位置および計測方向

表－２ 膨張モルタルの配合

W/(C+E) (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				
		C	W	E	S ₁ *	S ₂ *
55	59	478	281	34	763	624

※S₁ : 石灰砕砂 S₂ : 高炉スラグ(質量比 55 : 45)

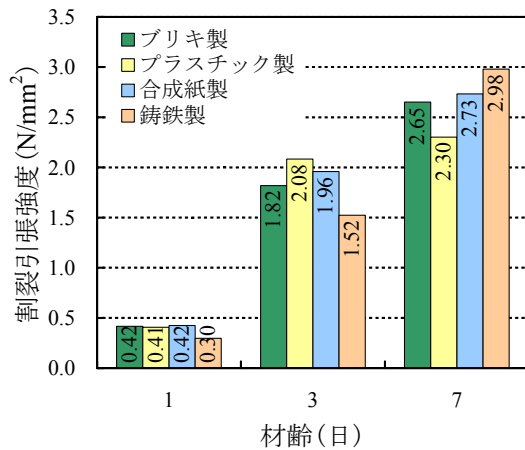
表－３ 使用材料の物理的性質

材料名	セメント	膨張材	石灰砕砂	高炉スラグ
寸法(mm)	—	—	5 以下	5 以下
密度*(g/cm ³)	3.16	3.17	2.64	2.76
吸水率(%)	—	—	1.95	1.11
粗粒率	—	—	2.85	2.55

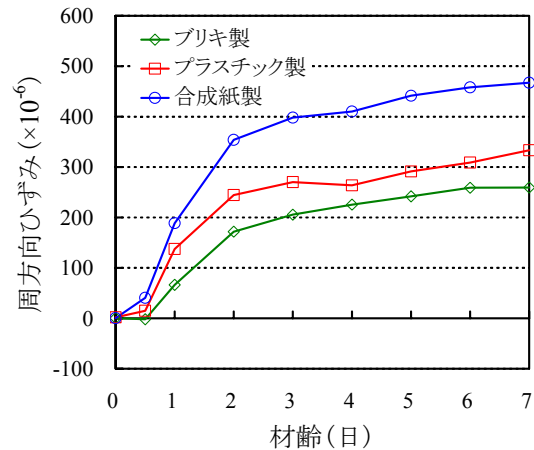
※表面乾燥飽水状態

割裂引張強度(3 体平均)を図－２に示す。材齢 1 日では型枠の違いによる割裂引張強度の差異はみられないが、材齢 3, 7 日では異なる割裂引張強度を示した。プラスチック製型枠(ii)を用いて作製した膨張モルタルの材齢 7 日における割裂引張強度は、材齢 1, 3 日と比較して他の型枠を用いた場合ほどの強度増進が窺えない。これは、プラスチックはクリープひずみが著しい材料であるため、膨張作用に対する拘束が緩みやすいものと考えられる。

また、型枠の側面中央において計測した周方向ひずみを図－３に示す。この結果をみると、型枠の違いによって周方向ひずみ量に差がみられる。このような膨張材による膨張作用に対する拘束の程度の違いが、割裂引張強度に影響を与えたものと考えられる。なお、(iii)合成紙製型枠の結果には、吸水膨張によるひずみも含まれていることに注意が必要である。



図－２ 割裂引張強度



図－３ 周方向ひずみ

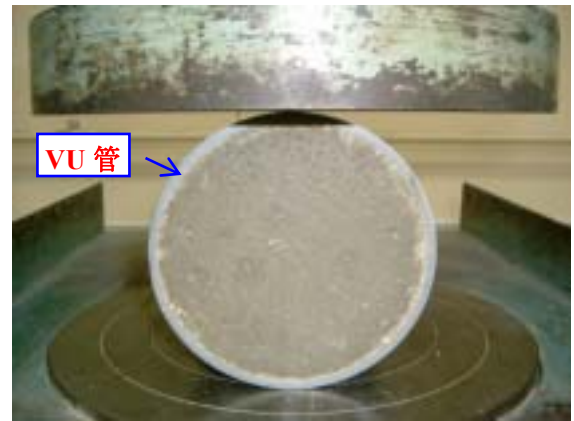
このように膨張コンクリートの材料強度評価には、それを作製する型枠の影響も含まれることになり、且つ小型供試体であればその傾向が著しくなることが予想される。これは、材料強度試験から得られる結果が、実際のコンクリート構造体の強度と大きく異なる特性値を示す可能性があることを示唆している。

3. 代替型枠を用いた割裂引張強度実験

3.1. VU 管による代替型枠

前章の結果をふまえ、本研究では実構造物における膨張コンクリートの引張強度特性をできるだけ簡易に且つ適切に評価できるよう、次のような試験方法を考案した。すなわち、市販の低剛性の塩化ビニール管(以下 VU 管)を代替型枠として用い、且つこの型枠を装着した状態で割裂引張強度試験を行うものである。この方法では型枠を介した応力伝達となるため、型枠の影響をできるだけ小さくするよう、比較的薄い VU 管(3mm 厚、ヤング係数 $3.35 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$)を採用している。本研究では、この方法により若材齢膨張モルタルの割裂引張強度実験を行い、従来の試験法との比較を試みた。

実験の一例として、VU 管装着時の割裂引張強度実験状況とひび割れ破壊状況を写真－２、写真－３にそれぞれ示す。なお、ここで用いた VU 管は、JIS K-6741 に定められる材料であり、外径 $D_e=114\text{mm}$ 、内径 $D_i=108\text{mm}$ 、長さ $L=$



写真－２ VU 管を装着した供試体の割裂引張強度実験状況



写真－３ VU 管を装着した供試体の割裂引張破壊状況

150mm のものである。さらに比較のため、一般にシリンダー供試体作製に用いられる铸铁製

表－４ VU 管を型枠に用いたモルタルの配合

記号	W/ (C+E)	単位量 (kg/m ³)					
		W	C	E	S ₃ ※	S ₄ ※	Ad
E00M	55%	276	502	0	748	612	5.02
E20M			468	33			4.68
E30M			453	49			4.53
E40M			436	66			4.36

※ S₃：海砂 S₄：砕砂(質量比 55：45)

表－５ 試験材齢と脱枠材齢

型枠 種類 －	供試 体 本数	試験 方法 着・脱	脱枠 材齢 (日)	試験材齢(日) ○印：試験		
				1	3	7
VU	9	装着	－	○	○	○
VU	9	脱	1	○	○	○
VU	6	脱	3	－	○	○
VU	3	脱	7	－	－	○
鑄鉄	9	脱	1	○	○	○
計	36	－	－	9	12	15

※ 各配合につき上記パラメータの実験を実施

※ 材齢 1 日以降、型枠装着有無に拘わらず全て標準養生

の型枠を用いた供試体も併せて作製した。

3.2. 実験パラメータ

本研究では、表－４の４水準のモルタルを使用し、筒状(底蓋のない)のVU管による型枠の装着有無および脱枠材齢を主な実験パラメータとした。ここで、脱枠材齢および試験材齢を表－５にまとめて示す。

3.3. 使用材料と配合条件

本実験で作製したモルタルには、普通ポルトランドセメント(密度：3.16g/cm³)を用い、これにセメント質量に対して 1%のリグニン系の減水剤を添加した。また膨張モルタルには、標準添加量 20kg/m³ の低添加型石灰系膨張材(密度：3.17g/cm³)を添加した。

なお、表－４に示す配合記号のうち、膨張材を表す E に続く数字(00,20,30,40)は、コンクリート換算したときの膨張材量(kg/m³)を意味するものである。すなわち、本研究で作製した各モルタルは、既往の研究²⁾で用いた膨張材量 0～40 kg/m³ のコンクリートにおけるモルタルマトリックス成分を意図して作製したものである。

4. 実験結果および考察

4.1. 割裂引張強度の一覧

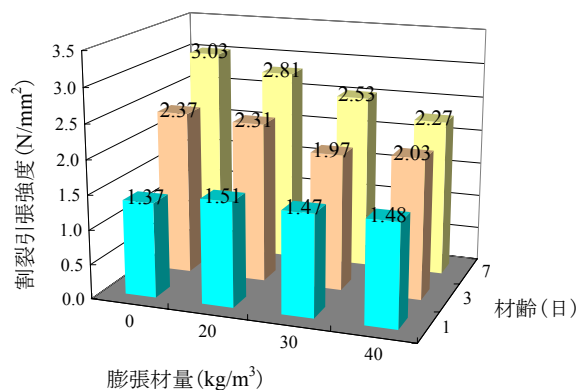
表－６に割裂引張強度の一覧を示す。ここに示す結果は、各条件につきそれぞれ３体の試験から求めた平均値である。

4.2. 代替型枠装着の有無の影響

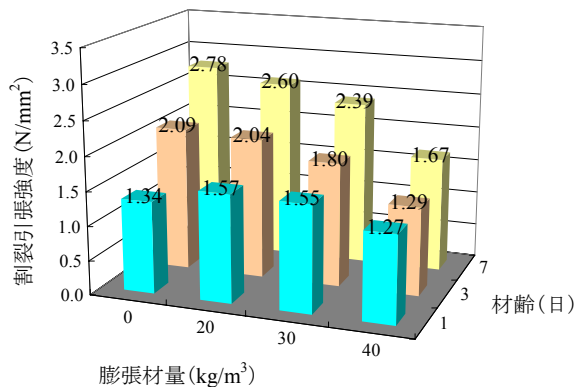
各配合における VU 管装着有無の割裂引張強度を図－４に示す。なお、同グラフに示す結果は、VU 管の脱枠材齢が 1 日のものである。

表－６ 型枠および脱枠材齢の異なるモルタルの割裂引張強度結果

記号	型枠種	試験方法	脱枠材齢	割裂引張強度 (N/mm ²)		
				1 日	3 日	7 日
E00M	VU	装着	－	1.37	2.37	3.03
	VU	脱	1 日	1.34	2.09	2.78
	VU	脱	3 日	-	2.15	2.63
	VU	脱	7 日	-	-	2.85
	鑄鉄	脱	1 日	1.15	2.29	2.86
E20M	VU	装着	-	1.51	2.31	2.81
	VU	脱	1 日	1.57	2.04	2.60
	VU	脱	3 日	-	2.07	2.81
	VU	脱	7 日	-	-	2.45
	鑄鉄	脱	1 日	1.35	2.20	2.85
E30M	VU	装着	-	1.47	1.97	2.53
	VU	脱	1 日	1.55	1.80	2.39
	VU	脱	3 日	-	1.79	2.24
	VU	脱	7 日	-	-	2.19
	鑄鉄	脱	1 日	1.35	1.98	2.47
E40M	VU	装着	-	1.48	2.03	2.27
	VU	脱	1 日	1.27	1.29	1.67
	VU	脱	3 日	-	1.39	1.69
	VU	脱	7 日	-	-	1.69
	鑄鉄	脱	1 日	0.97	1.36	2.08



(A) VU 管装着



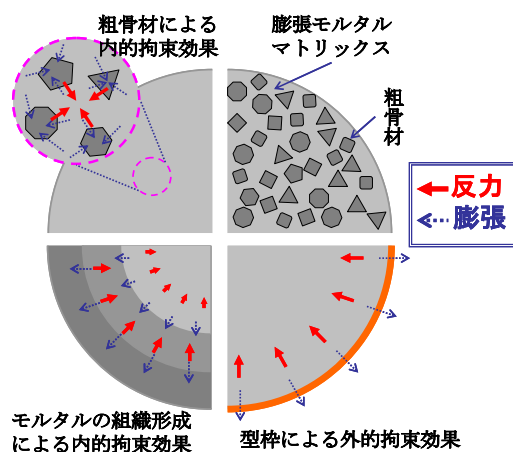
(B) VU 管脱枠

図－４ VU 管装着有無による割裂引張強度

図－４によれば、E00M・E20M・E30MのVU管装着時の割裂引張強度は型枠の効果により若干高い傾向にあるが、同装着有無の差異は比較的小さいものであった。一方E40Mでは、材齢3・7日において、VU管装着有無の差は約0.7N/mm²であった。

図－４に示すような強度の差異は、VU管から受ける(一部)拘束を外周のモルタル組織と仮定したとき、普通モルタルではモルタルの組織形成は引張強度にほとんど寄与しないが、膨張モルタルの場合、その程度は無視できないことを示している。このことは既往の研究²⁾で示した膨張モルタルの組織形成による内的拘束効果(図－５左下)を示唆するものと考えられる。

上記を換言すれば、実構造物に打設された膨張コンクリートの引張強度は、周囲のモルタルの組織形成に伴って一部拘束を受けることで、強度増進効果が得られるものと予想される。しかしながら、一般に引張強度試験では規定のシリンダー供試体を材齢1～2日で脱枠するため、その後の膨張モルタルの緻密な組織形成が充分に行われず、その拘束効果に伴う強度増進が充分に図ることができない可能性がある。すなわち、普通コンクリート・モルタルの場合、実構造物における引張強度はシリンダー供試体の割裂引張強度試験から概ね妥当に評価できるが、膨張コンクリート・モルタルの場合は、実構造物における膨張コンクリート・モルタルの引張



図－５ 膨張コンクリートの拘束効果²⁾

強度を過小評価する可能性も考えられる。

本研究で提案するような低剛性の簡易型枠(VU管)を装着した割裂引張強度の妥当性については、実構造物からコア採取したコンクリート等との強度比較を行うとともに、本試験方法による強度データの拡充を図り、検証を行っていく必要があると考えている。

4.3. 脱枠材齢の影響

次にVU管による簡易型枠の脱枠材齢が異なる割裂引張強度の結果を図－６に示す。なお、同図では参考のため、一般的に使用される鑄鉄製型枠(脱枠材齢：1日)による試験結果も示している。この結果は、材齢3・7日時点における割裂引張強度であり、各棒中の数字は、脱枠材齢を表している。

図－６に示すように、本実験で行った膨張モ

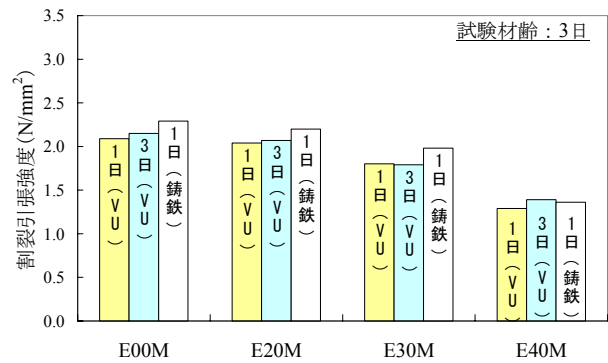
ルタルの全ての配合において、鑄鉄製型枠を用いた方が、VU 管を用いたものより高い割裂引張強度を示した。これは特に材齢 1 日までのモルタルの膨張(温度膨張を含む)を剛な型枠によって拘束したことが影響したものと考えられる。

このように脱枠を行う膨張モルタル等においては、製作に用いる型枠も強度特性に影響をおよぼすことに留意する必要があるだろう。また、図-6に示すように、VU 管の脱枠材齢による割裂引張強度にはほとんど差異はみられなかった。このことは、脱枠後の膨張作用に伴い、比較的早い段階で組織構造の緩みが生じやすく、結果的に一定の材齢においては脱枠材齢によらず、割裂引張強度が同程度になったものと予想される。このことは、既往の膨張コンクリート(モルタル)の強度試験³⁾において、脱枠後直ちに試験に供するよう規定されていることから、その妥当性が窺える。

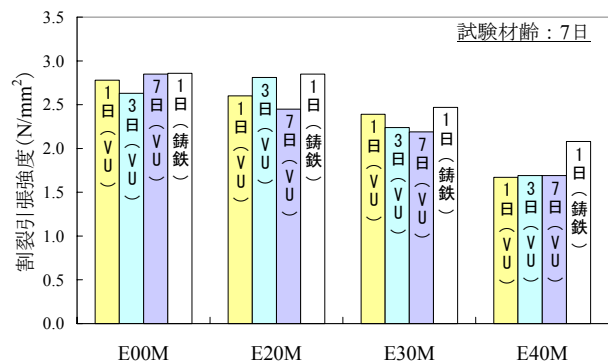
5. まとめ

本研究は、特に若材齢期における膨張コンクリートの(割裂)引張強度を評価するための簡易手法を提案し、その特性について検討したものである。本研究の範囲内で得られた知見を以下に要約する。

- (1) 膨張コンクリートの材料強度評価には型枠の影響があり、実際のコンクリート構造体の強度と異なる特性値を示す可能性が窺えた。
- (2) VU管による簡易型枠を装着した膨張コンクリートの割裂引張強度試験は、従来試験のような脱枠後の組織の緩みを低減できるため、膨張コンクリートの引張強度を簡易に推定できる試験方法の一つとして提案される。
- (3) VU管を用いた本試験方法では、少なくとも膨張材量が標準添加量の1.5倍以内であれば、型枠装着の有無による割裂引張強度の差異はみられず、また脱枠しても脱枠材齢の影響をほとんど受けない。



(A) 試験材齢 3 日



(B) 試験材齢 7 日

図-6 脱枠材齢の異なる膨張モルタルの割裂引張強度

参考文献

- 1) 吉武 勇, 吉岡国和, 蛭谷祐至, 宮本圭介, 浜田純夫：若材齢膨張コンクリートの引張強度におよぼす粗骨材量の効果, 材料, Vol.56, No.3, pp.282-286, 2007.3.
- 2) 吉岡国和, 吉武 勇, 蛭谷祐至, 浜田純夫：若材齢コンクリートの割裂引張強度に与える膨張材の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.367-372, 2005.6.
- 3) 国分正胤, 小林正凡, 長滝重義, 岡村 甫, 町田篤彦：膨張性セメント混合材を用いたコンクリートの標準試験方法に関する研究, 土木学会論文報告集, No.225, pp.93-99, 1974.5.