

論文 レジンコンクリートの曲げ強度における寸法効果について

大島 光晴*¹・林 富士男*²・内田 裕市*³・小柳 洽*⁴

要旨: ポリエステルレジンコンクリートの曲げ強度における寸法効果の把握を目的として、骨材の最大寸法の差や供試体の注型寸法に伴って変動する硬化特性が、曲げ強度の寸法効果に及ぼす影響について調査した。

その結果、粗骨材の最大寸法が大きいほどレジンコンクリートの曲げ強度は低下するが、断面寸法の増加に伴う強度低下の度合いは緩やかとなることが明らかとなった。また、レジンコンクリートの注型寸法の差に起因する収縮量や発熱量の差は、曲げ強度の寸法効果には影響を及ぼさないことが明らかとなった。

キーワード: ポリエステルレジンコンクリート、曲げ強度、寸法効果、骨材の最大寸法

1. はじめに

従来セメントコンクリートには、供試体の寸法が増加すれば見かけの強度が減少する現象、いわゆる強度の寸法効果が存在する。これは、コンクリートのような脆性材料の力学的特性のひとつであり、粗骨材と細骨材ならびに充填材を合成樹脂にて結合したレジンコンクリートにおいても同様の性質は認められる。また、レジンコンクリートはセメントコンクリートに比べ高強度であるが、寸法効果は顕著となることが知られている¹⁾。

我が国では、レジンコンクリートを構造部材として用いる場合には、レジンコンクリートが有する高い曲げ引張強度を活用し、曲げひび割れの発生を終局限界状態とする、いわゆるタイプ I の部材としての適用形態が中心となっている²⁾。レジンコンクリートの構造設計においては、適用しようとする部材寸法を考慮に入れた設計強度を定める必要があり、そのためにも曲げ強度における寸法効果の特性を把握しておくことは重要である。

本研究では、粗骨材の最大寸法を違えた 3 種類のレジンコンクリートによって、種々の断面寸法のはり供試体を注型にて作成し、曲げ強度試験を行った。さらに、2 種類の断面寸法のはり供試体を注型にて作成した供試体から切り出すことによって作成し、同様の曲げ強度試験を行った。はり供試体の断面高さ寸法と曲げ強度の関係を求めることによって、骨材の最大寸法の差や供試体の作成方法の違いがレジンコンクリートの曲げ強度における寸法効果に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 レジンコンクリートの配合

本実験で使用したレジンコンクリートの配合を Table 1 に示す。

レジンコンクリートの結合材には、オルトフタル酸系の不飽和ポリエステル樹脂を使用した。粗骨材には、同一産地の原石を粉砕して製造した最大寸法が 10mm (F.M.=5.57)、15mm (F.M.=5.88)ならびに 25mm (F.M.=6.23)の 3 種類

*1 (株)サンレック技術本部開発課課長 工修 (正会員)

*2 (株)サンレック西日本工場長 博 (工学) (正会員)

*3 岐阜大学助教授 工学部土木工学科 博 (工学) (正会員)

*4 岐阜大学教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

Table 1 Mix proportions of resin concrete

Name of mixture	Resin (wt%)	Filler (wt%)	Fine aggregate (wt%)	Coarse aggregate (wt%)	Remark
Mix 1	10	20	20	50	M.S.=10 mm
Mix 2	10	20	20	50	M.S.=15 mm
Mix 3	10	20	20	50	M.S.=25 mm

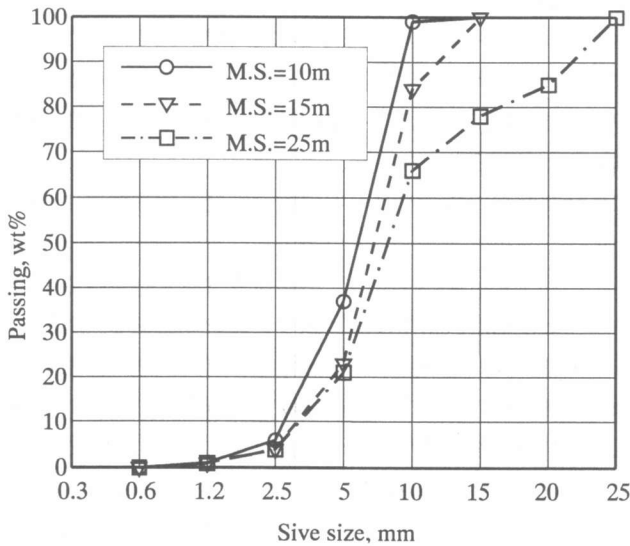


Fig.1 Grading of coarse aggregates

の砕石を使用した。各々の粗骨材の粒度曲線を Fig.1 に示す。充填材には重質炭酸カルシウム (平均粒径 $40\mu\text{m}$)、細骨材には最大寸法が 0.6mm (F.M.=1.3) の山砂を使用した。不飽和ポリエステル樹脂の硬化剤としては、触媒にメチルエチルケトンパーオキサイド(MEKPO)を、促進剤にはナフテン酸コバルトを使用し、レジンコンクリートの可使時間が 45 ± 10 分となるように硬化剤の添加量を調節した。

2.2 供試体の作成

2.2.1 注型供試体

Table 1 に示した 3 種類の配合のレジンコンクリートについて、断面寸法を変えた 5 種類の供試体を各々 3 個ずつ作成した。供試体の寸法と供試体名称を Table 2 に示す。

レジンコンクリートの練混ぜは、容量 1200kg

Table 2 Sizes and names of cast specimens

Name of specimen	Depth (mm)	Width (mm)	Length (mm)
A	60	60	240
B	100	100	400
C	150	150	530
D	200	200	800
E	250	250	1000

の強制かくはん式ミキサーにて行い、各配合 800kg の材料を 5 分間混練した。供試体型枠への注型は、テーブルバイブレーターで型枠に振動を与えながら行った。

各配合のレジンコンクリートは、硬化剤の添加後 $40\sim 50$ 分で硬化し、その後 1 時間経過した後型枠から脱型した。脱型した供試体は、 80°C のオープン中で 15 時間の加熱養生を行ったのち、 20°C の気中で 10 日間養生を行った。

2.2.2 切出し供試体

注型供試体の強度試験を終えたのち、断面寸法が 150mm 以上のはり供試体(C,D,E)の折片から 2 種類の断面寸法のはり供試体を各々 3 個ずつ切り出すことによって作成した。供試体の寸法と供試体名称を **Table 3** に示す。

レジンコンクリートの切断には、ダイヤモンドカッターを用い、切断時の温度上昇の影響を除くため、切断部分に水を散布しながら供試体を切り出した。切り出したはり供試体は、20℃の気中に 40 日間静置した後に注型供試体と同様の方法で曲げ強度試験を行った。

2.3 強度試験方法

はり供試体の曲げ強度は、三等分点荷重によって求めた。断面の高さ寸法が 15cm 以下のはり供試体(注型供試体の A,B,C と切出し供試体)は容量 490kN の圧縮試験機を、それ以外の供試体(D,E)は容量 980kN の万能試験機を用いて載荷を行った。載荷開始後 2~3 分で最大荷重に達するように載荷速度を調節した。

3. 結果と考察

3.1 注型供試体の強度

各配合につき各々 5 種類の断面寸法のはり供試体から得られた曲げ強度の平均値と、はり高さが 10cm の供試体(B) に対する強度の増減率を **Table 4** に示す。また、各供試体のはり高さと曲げ強度の関係を両対数グラフ上に表したものを **Fig.2** に示す。

Table 3 Sizes and names of sawed specimens

Name of specimen	Depth (mm)	Width (mm)	Length (mm)	Cut out from
AC	60	60	240	C
AD	60	60	240	D
AE	60	60	240	E
BD	100	100	400	D
BE	100	100	400	E

Table 4 ならびに **Fig.2** に示されるように、レジンコンクリートの曲げ強度は、粗骨材の最大寸法が大きいくほど低い値を示したが、はり高さの増加に伴う強度低下の度合いは緩やかとなった。その結果、粗骨材の最大寸法が異なる 3 種類のレジンコンクリートの強度は、はり高さの増加と共に徐々に等しくなる傾向を示した。これは、供試体の断面寸法に対する骨材の最大寸法の比が小さくなり、相対的にモルタルの性状に近づくためと考えられる。

Fig.2 より、粗骨材の最大寸法が 10mm である配合(Mix1)と 15mm である配合(Mix2)のレジンコンクリートの曲げ強度は、両対数グラフ上において、はり高さの増加に対してほぼ直線的に低下している。また、粗骨材の最大寸法が 25mm である配合(Mix3)のレジンコンクリートについても、はり高さが 6cm の供試体(A)を除いて同様の挙動を示した。Mix3 によるはり高さが 6cm の供試体(A)は、供試体の断面寸法が粗骨材の最大寸法の約 2 倍と小さいために均質な供試体を作成できず、曲げ強度のバラツキも大となった。

Table 4 Flexural strength of cast specimens

Name of specimen	Depth of cross section (mm)	Flexural strength			Percent changes to B		
		Mix 1 (MPa)	Mix 2 (MPa)	Mix 3 (MPa)	Mix 1 (%)	Mix 2 (%)	Mix 3 (%)
A	60	24.4	25.3	20.5	+16	+29	+22
B	100	21.0	19.6	16.9	---	---	---
C	150	18.8	18.2	15.5	-10	-7	-8
D	200	18.2	17.5	15.2	-13	-11	-10
E	250	16.2	16.4	14.6	-23	-17	-13

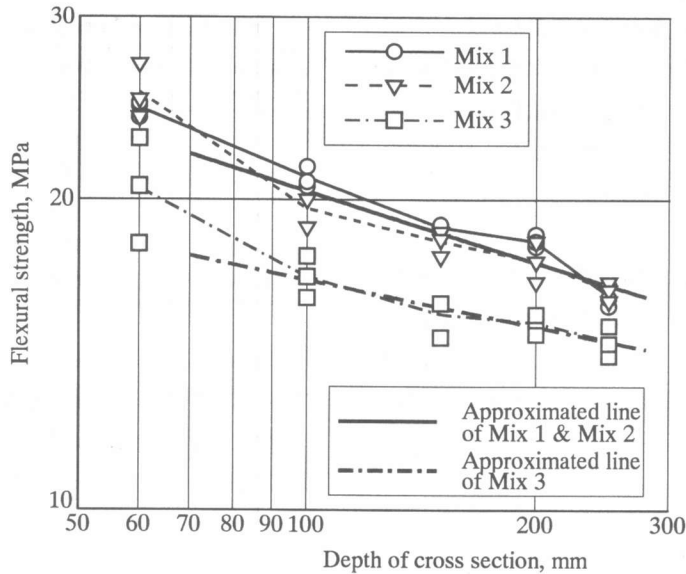


Fig.2 Depth of cross section vs. flexural strength

Fig.2 において、はり高さが 10cm 以上の範囲の供試体(B,C,D,E)について、はり高さと同曲げ強度の関係を直線近似した結果、最大寸法が 10mm の粗骨材を使用した配合(Mix1)のレジコンクリートははり高さの 1/4 乗に比例して、最大寸法が 15mm の粗骨材を使用した配合(Mix2)のレジコンクリートははり高さの 1/5 乗に比例して、また、最大寸法が 25mm の粗骨材を使用した配合(Mix3)のレジコンクリートははり高さの 1/7 乗に比例して各々曲げ強度が低下した。さらに、Fig.2 では Mix1 と Mix2 の配合のレジコンクリートは、全区間で概ね同等の挙動を示しているとも判断できるため、両者をまとめて近似すると、曲げ強度ははり高さの 1/4.5 乗に比例して低下した。

一方、従来のセメントコンクリートでは、曲げ強度は供試体のはり高さの約 1/7 乗に比例して低下するとの報告がある³⁾。本実験では、粗骨材の最大寸法が 25mm の配合(Mix3)によるレジコンクリートは、セメントコンクリートと同等の低下率を示したが、粗骨材の最大寸法が 10mm と 15mm の配合(Mix1,Mix2)の場合には、セメントコンクリートよりも大きな曲げ強度の

低下率を示した。

本実験で使用した粗骨材は、同一の原石から粉砕・分級されたものであるため、骨材自体の強さは等しいとすると、曲げ強度の寸法効果は粗骨材の最大寸法によって影響されると考えられる。

3.2 切出し供試体の強度

切出し供試体の曲げ強度の平均値を Table 5 に示す。

切出し供試体においても、注型供試体より得られた結果と同様に、骨材の最大寸法が大きいほど、あるいは供試体のはり高さが大きいほど、曲げ強度が低下した。

Table 5 Flexural strength of sawed specimens

Name of specimen	Depth of cross section (mm)	Flexural strength (MPa)		
		Mix 1 (MPa)	Mix 2 (MPa)	Mix 3 (MPa)
AC	60	26.4	24.1	23.4
AD	60	24.1	22.1	21.3
AE	60	22.9	22.1	21.1
BD	100	22.3	21.1	17.5
BE	100	20.3	19.4	18.0

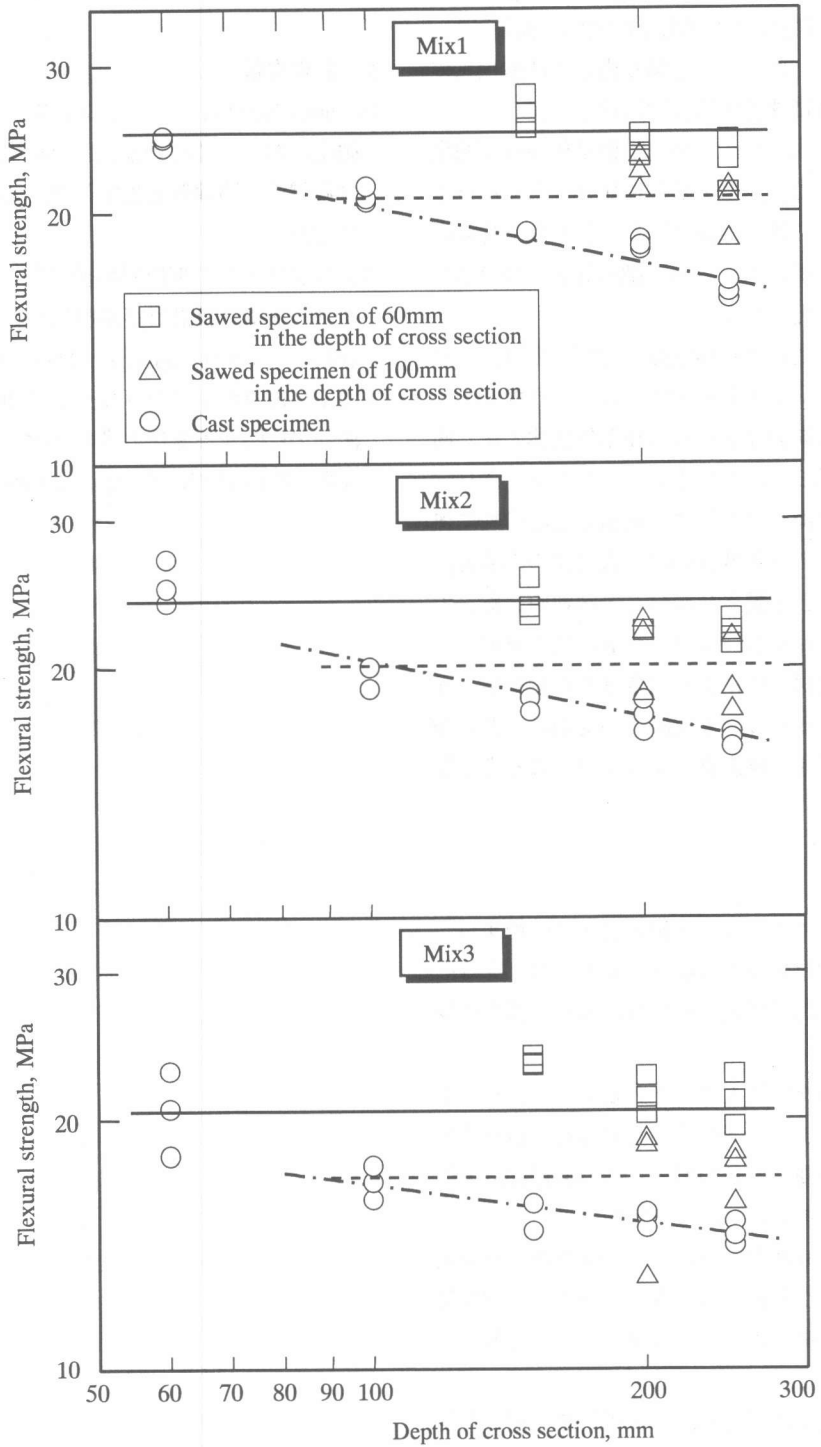


Fig.3 Flexural strength of sawed and cast specimen

切出し供試体のはり高さとの関係を示す。なお、Fig.3での切出し供試体の横軸に対するプロットは、各々を切り出した注型供試体のはり高さの位置に行った。

Fig.3に示すように、切出し供試体の曲げ強度のバラツキは、注型供試体に比べ大きくなっているが、これは、供試体切り出し時の刃物の揺れなどで、供試体の表面に微小な傷がつけられたためと考えられる。

各配合共に切出し供試体の曲げ強度は、それらを切り出した注型供試体よりも大きな値を示し、同一の断面寸法をもつ注型供試体と概ね同等の値を示した。これより、レジンコンクリートの配合が同じであれば、断面寸法の増加に伴う曲げ強度の低下度合いは、供試体の作成方法にはほとんど影響されないことが判明した。このことは、レジンコンクリートの硬化収縮や、作成する部材寸法によって変動する発熱量、硬化速度などといった硬化特性の変動は、曲げ強度の寸法効果には影響を及ぼさないことを示している。

4. 結論

本研究にて得られた結果を以下に要約する。

- ① 粗骨材の最大寸法は、レジンコンクリートの曲げ強度とその寸法効果に影響を及ぼす。
- ② 粗骨材の最大寸法が大きいほど、レジンコンクリートの曲げ強度は低い値を示すが、断面寸法の増加に伴う曲げ強度の低下の度合いは小さくなる。
- ③ 最大寸法が10mmと15mmの粗骨材を使用したレジンコンクリートの曲げ強度は、はり高さの1/4～1/5乗に比例して低下した。
- ④ 最大寸法が25mmの粗骨材を使用したレジンコンクリートの曲げ強度は、はり高さの1/7乗に比例して低下した。
- ⑤ レジンコンクリートの曲げ強度の寸法効

果は、注型時の部材寸法の違いに起因する硬化特性の変動には影響されない。

5. 参考文献

- 1) Nguyen Van Loi ほか：レジンコンクリートの強度における寸法効果，土木学会第48回年次学術講演会講演概要集第V巻，pp.64～65，1993.9
- 2) コンクリート工事用樹脂委員会：レジンコンクリート構造設計計算指針について，材料，Vol.34，No.384，pp.1110～1114，1985.9
- 3) 内田裕市ほか：コンクリートの曲げ強度の寸法効果に関する破壊力学的検討，土木学会論文集，No.442/V-16，pp.101～107，1992.2