

(139) 高強度軽量コンクリートを用いたアンボンドPCばりの力学的特性

極東工業(株) 技術部 正会員 ○中田 順憲
 (株)フジタ 技術研究所 青木 治雄
 日本ゼニスパイプ(株) 開発部 塩見 昌紀
 日本基礎技術(株) 技術本部 岡崎 正弘

1. はじめに

近年、高性能な人工軽量骨材や混和剤の開発、練混ぜ技術の進歩等に伴い、軽量コンクリートは、さらなる軽量化・高強度化が図られ、その用途も広範囲に模索されている。このような技術的背景の下、筆者らは、一般的な人工軽量骨材を絶乾状態で練り混ぜることにより、単位容積質量を 1.6t/m³ まで低減し、かつ 50N/mm² を超える圧縮強度を保持した軽量コンクリートを、図-1に示すようなグラウンドアンカーのPC受圧板に用いることを試みた。受圧板の軽量化は、山間部の急峻な地形条件下での法面補強工事において運搬・揚重機械の規模縮小や施工性の改善に寄与することが期待されている。一方、軽量コンクリートは、普通コンクリートに比べ、ヤング係数や引張強度が小さいこと、さらに線形的な応力～ひずみ関係や脆性的な破壊性状を有することが知られており、構造部材として適用する場合には、材料の力学特性が部材の耐力あるいは変形性能に与える影響を把握しておくことが重要となる。そこで、軽量コンクリートを用いたPC受圧板を実用化するにあたり、実物大供試体の定着性能確認試験とともにアンボンドPCばりの曲げ載荷試験を実施し、同程度の圧縮強度およびプレストレスを与えた普通コンクリート供試体と性状比較することにより、軽量コンクリートの構造部材への適用性を確認するものとした。本稿は、アンボンドPCばりの曲げ載荷試験について概要を報告し、さらに、構造部材として適用された軽量コンクリートの応力～ひずみ関係について考察を加えたものである。

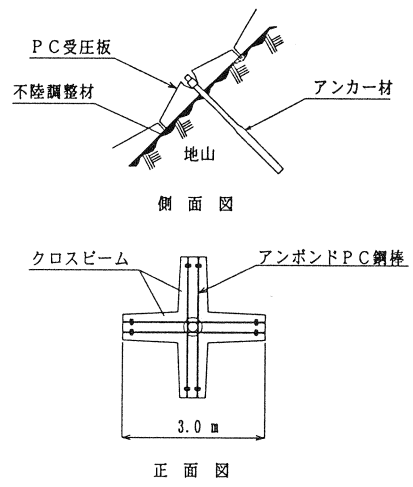


図-1 PC受圧板

2. 軽量コンクリートの性状

一般に人工軽量骨材は多孔質な材料であり吸水率が高いため、これを用いたコンクリートの練上がり後のスランプロスが大きく、これまでポンプ圧送や打込みに要する流動性を維持するために骨材のプレウェットイングが行われてきた。しかし、プレウェットイングは同時に、コンクリートの凍結融解抵抗性を低下させ耐久性に問題を残すこととなった。一方、プレキャスト工場製品を適用の対象とした場合、練上がりから打込みまでのスランプロスは、ある程度許容でき、軽量骨材を絶乾状態で用いることも可能となる。絶乾軽量骨材を用いたコンクリートは、含水状態の骨材を用いたものより単位容積質量を低減でき強度発現や耐久性に優れることは、既往の研究¹⁾で明らかにされており、すでにカーテン

表-1 使用材料

セメント	早強セメント
粗骨材	人工軽量粗骨材(非造粒型)
細骨材	人工軽量細骨材
混和剤	ポリカルボン酸を主成分とする高性能 AE 減水剤(開発品)

表-2 人工軽量骨材の物性

種別	表乾比重	絶乾比重	吸水率(%)	粗粒率
粗骨材	1.63	1.29	26.0	6.31
細骨材	1.89	1.67	12.8	2.64

ウォール等の建築用プレキャスト部材に供給されている。研究対象とした軽量コンクリートは、これまで培われた製造方法を踏襲し、PC部材用としてさらに高強度化を図ったものである。表-1および表-2にそれぞれ使用材料と軽量骨材の物性を示す。

配合を決定するにあたっては、表-3に記した目標値を満足するまで試験練りを繰り返し、単位セメント量 400kg/m³、W/C=46%、s/a=40%を最終値とした。試験練りにおいては、粗骨材の浮き上がりが生じないこと、仕上げ作業性が良好であることも併せて確認した。表-4に材令28日での硬化性状を普通コンクリートと対比して示す。

図-2は、荷重試験前に円柱供試体(φ100×200)により確認した応力~ひずみ関係を図中に示した二次関数で回帰近似し、図化したものである。この図から、軽量コンクリートが普通コンクリートに比べ直線的な応力~ひずみ関係を有していることや終局ひずみが卓越することがわかる。なお、応力下降域については軽量、普通いずれのコンクリートも急激な破壊が生じたため、計測できなかった。

表-3 軽量コンクリートの配合目標値

硬化物性	圧縮強度(材令28日)	50N/mm ² 以上	
	気乾単位容積質量	1.6t/m ³ 以下	
フレッシュ性状	スランプ	練上がり直後	20cm以下
		打込み時	10cm以下
	空気量	5.0±1.5%	

表-4 コンクリートの硬化性状

種別	軽量コンクリート	普通コンクリート
単位容積質量	1.63 t/m ³	2.34 t/m ³
圧縮強度	60.6 N/mm ²	60.0 N/mm ²
引張強度	3.1 N/mm ²	4.5 N/mm ²
曲げ強度	2.8 N/mm ²	5.7 N/mm ²
ヤング係数	1.85 N/mm ²	3.42 N/mm ²

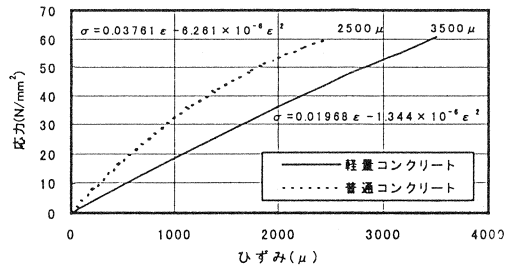


図-2 コンクリートの応力~ひずみ関係

3. 曲げ荷重試験

3.1 実験概要

はり供試体の断面寸法および鋼材配置は、PC受圧板クロスビームの実構造に合わせ、支持スパンおよび荷重点位置は、受圧板の設計において想定される曲げおよびせん断の影響を再現できるように決定した。供試体数は、軽量コンクリートを用いたものが2体、普通コンクリートを用いたものが1体である(以下それぞれ軽量供試体、普通供試体と称す)。荷重に伴う供試体の変形は、各部に配置したひずみゲージと変位計により計測した。図-3に供試体の構造寸法、鋼材配置および計測箇所を示す。なお、アンボンドPC鋼棒は、ロードセルを介して緊張・定着し、導入から荷重試験までの約2週間に渡るプレストレスの経時変化と荷重試験時の増加張力を計測した。図-4は、プレストレスの経時変化を、導入時のプレストレスに対する比率として表したものである。用いた軽量コンクリートの体積変化特性は、普通コンクリートに比べて、クリープ係数が小さく収縮度大きい。短期間の計測では、これらの要因が相殺されたかたちとなり、プレストレスの減少率について、両供試体間の有意な差は認められなかった。

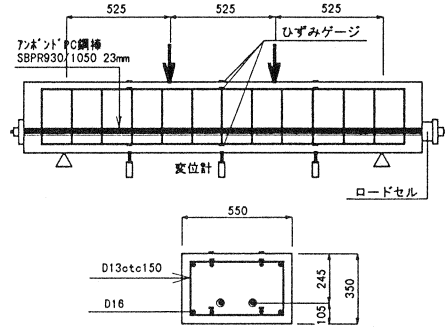


図-3 アンボンドPCはり供試体

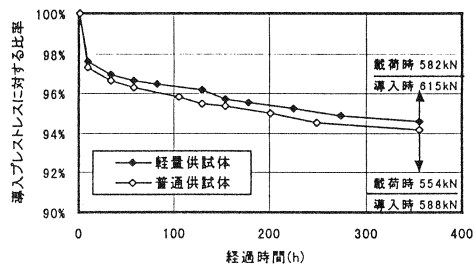


図-4 プレストレスの減少

3.2 実験結果

載荷試験で得られた軽量供試体2体のデータは両者で概ね一致していたため、ここでは1体分のデータを代表値として引用する。図-5は、載荷荷重と支間中央のたわみの関係を示したものである。最大荷重は、軽量・普通両供試体とも上縁かぶりコンクリートの圧壊・剥離が生じる直前の計測値であり、両者でほぼ同値であった。ただし、ピークに達した後の荷重の降下は、軽量供試体の方が急激であり、使用コンクリートの特性差が供試体の破壊性状の差となって現れている。一方、供試体の変形に着目し、計測したコンクリートおよび鉄筋のひずみ値から推定した供試体中央の曲率 ϕ と曲げ剛性 M/ϕ の関係を示したものが図-6である。コンクリートのヤング係数差による供試体の初期剛性の差は、ひびわれが進展し曲率が増加するにしたがって小さくなり、鉄筋降伏以後の曲げ剛性は両者で一致してくる。また、最大荷重載荷時に対応する終局曲率も同程度であり、軽量供試体の変形性能は普通供試体に匹敵している。

図-7は、終局時のひびわれの発生状況を示しており、軽量供試体の方が、分散する傾向にあったことがわかる。このようなひびわれ分布の差は、たわみ実測値から求めた供試体全体の平均剛性と供試体中央の局部剛性 M/ϕ を比較することによって定量的に把握できる。図-8は、局部剛性/平均剛性比を供試体中央の曲率 ϕ との関係で表現したものであり、この剛性比が小さいほど、局部的な剛性低下が顕著であることを意味している。この図から、軽量供試体において、ひびわれが多数かつ広範囲に発生・進展していく過程で、アンボンドPC部材特有の局部的な曲げ変形が幾分緩和されていることがわかる。

図-9は載荷に伴うPC鋼棒の増加張力と供試体中央の曲率 ϕ の関係を示している。増加張力は、はり全体の曲げ変形と比例関係にあるため、載荷点間の局部的な曲げ変形が顕著となる鉄筋降伏点を境にして増加率が変化している。また、軽量、普通両供試体の張力差は、図-8で示した局部/平均剛性比の推移と良い相関を示している。

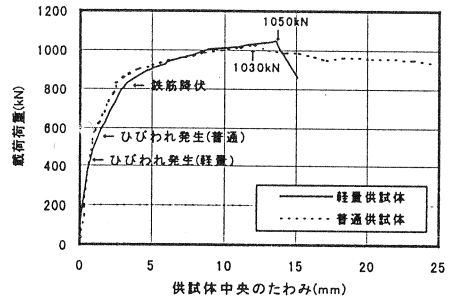


図-5 荷重～たわみ関係

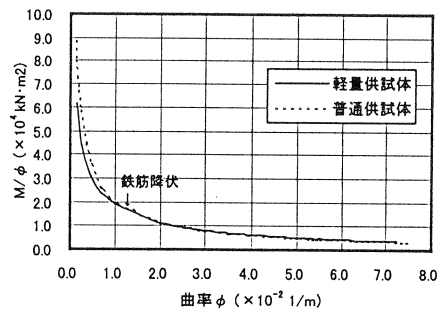


図-6 曲げ剛性～曲率関係

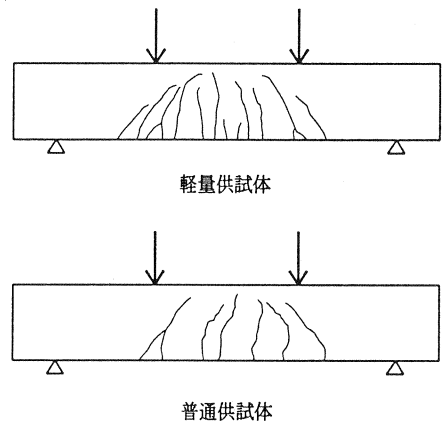


図-7 ひびわれの発生状況

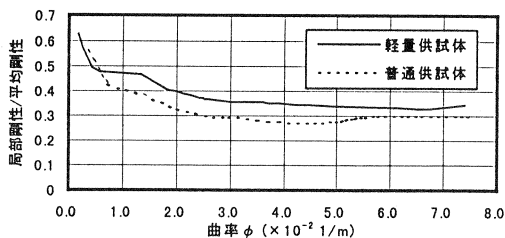


図-8 局部剛性/平均剛性比

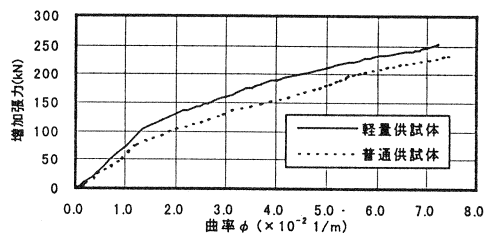


図-9 PC鋼棒の増加張力

3.3 軽量コンクリートの応力～ひずみ関係に関する考察

一般に、曲げを受けるコンクリート部材の終局縁ひずみ ϵ_{cu} は、圧縮強度試験時の終局ひずみ ϵ_{c-max} に比べ大きな値を示すため、部材の変形性能を解析的に評価しようとする場合、圧縮域におけるコンクリートの応力～ひずみ関係を適切にモデル化することが重要となる。ここでは、本実験で計測されたひずみ値およびPC鋼棒の張力から、はり供試体の中立軸の位置と圧縮縁応力を推定し、構造部材として適用されたコンクリートの応力～ひずみ関係について把握することを試みた²⁾。図-10は、供試体中央断面における中立軸の位置と曲率の関係を示している。軽量・普通両供試体ともに、圧縮縁から中立軸までの距離が終局に至るまで減少傾向を保っていることから、終局領域での圧縮縁応力は、概ね増加あるいは横ばいで推移していたことがうかがえる。図-11は、圧縮ブロック内の平均応力度から推定した供試体上縁の応力～ひずみ関係を圧縮強度試験時の応力～ひずみ関係(図-2)と対比して示したものである。普通供試体では、約2500 μ の ϵ_{c-max} に対して ϵ_{cu} が3700 μ 程度まで延び、 ϵ_{c-max} を超える領域での縁応力は、ほぼ一定値を保ちながら破壊直前で降下しているのに対し、軽量供試体では、約3500 μ の ϵ_{c-max} に対して ϵ_{cu} は3900 μ 程度で微増するに止まり、縁応力が上下ばらつきながらも増加する傾向を示している。このことから、軽量コンクリートの応力～ひずみ関係は、普通コンクリートのそれと違って、圧縮強度試験と構造部材に適用した場合とで大きな差が生じないものと考えられるが、その一方で、補強鋼材量や応力勾配等、適用する部材の性状に依存する可能性もあり、特に部材じん性が要求される場合には、詳細な検討が必要であると思われる。

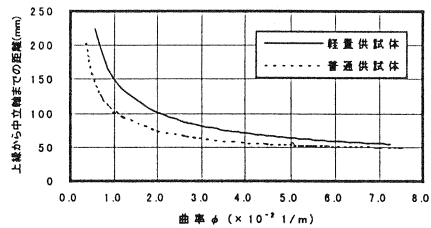


図-10 中立軸位置の変動

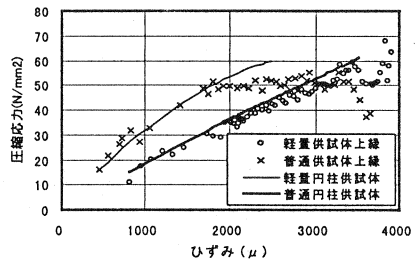


図-11 コンクリートの応力～ひずみ関係

4. おわりに

目標強度 50N/mm²、単位容積質量 1.6t/m³の軽量コンクリートを用い、軸圧縮応力度に換算して 3N/mm²程度のプレストレスを導入したアンボンドPCばりの曲げ載荷試験を行った結果、以下の知見を得た。

- ① 軽量コンクリート供試体は、普通コンクリート供試体と同等の曲げ耐力および変形性能を有している。
- ② 軽量コンクリートの力学特性は、アンボンドPCばりのひびわれ分散と曲げ変形の均等化に多少寄与する。
- ③ 曲げ部材に適用された軽量コンクリートの応力～ひずみ関係は、圧縮強度試験時のそれと大差がなく、終局ひずみの変化や圧縮じん性の有無において普通コンクリートと異なる。

本実験では、軽量コンクリートを用いたPC受圧板の荷重保持性能の確認に主眼を置いたため、供試体数も少なく、軽量コンクリートの力学特性については限定された条件下での傾向を確認するにとどまった。今後、軽量コンクリートを用いた構造部材の力学的特性に関してさらなるデータの蓄積がなされ、軽量コンクリートの適用範囲が拡大されるとともに適用のメリットが十分に活用されることを期待してやまない。

なお、本実験は、(株)アツギテクノス、極東工業(株)、(株)テクノマテリアル、東亜グラウト工業(株)、日本基礎技術(株)、日本ゼニスパイプ(株)、(株)フジタによる共同研究の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) 塩田・青木・小野山：絶乾状態の人工軽量骨材を用いた高強度軽量コンクリートの特性およびPC a部材への適用について、日本建築学会技術報告集、第4号、8-13、1997年3月
- 2) 建設省土木研究所・PC建設業協会：高強度コンクリート部材の設計法に関する共同研究報告書、平成7年11月