

PC 構造物の軽量化に対する取組み

睦好 宏史*

1. はじめに

コンクリートの引張強度が圧縮強度に対して著しく弱いこと、および重量がその強度に比べて大きいことなどがコンクリートを構造材料として使ううえで、最も大きな欠点であった。これらを改良する試みがこれまで幾度となく行われてきたが、いまだ一般に実用化されるには至っていない。コンクリートの重量が大きいことは、ある種の構造物においては利点であるが、橋梁や建物においては明らかに欠点である。とくにわが国のような地震国では、上部のコンクリート構造物を支えるための柱や橋脚、杭等の基礎構造物に至るまで頑丈に造らなければならない。したがって、コンクリートあるいは上部構造物が軽量化されれば、そのメリットは経済性のみならず安全性においても計り知れないものがある。ここでは主に、PC橋梁構造物における軽量化に対する最近の取組みについて紹介することにする。

2. コンクリートを軽量化する取組み

2.1 最近の軽量骨材

コンクリートを軽量化する手法として、①気泡を導入する方法、②軽量骨材を使用する方法が考えられる。PC構造物のようにコンクリートに対して高強度が求められる場合には、軽量骨材を用いる方法が適している。一般に、人工軽量骨材を用いたコンクリートの比重は1.4~1.9、圧縮強度は20N/mm²~50N/mm²程度である¹⁾。また、これまでの人工軽量骨材は多孔質であることから、吸水率が非常に大きくなり、これがコンクリート構造物の施工性および耐久性を低下させる大きな原因になっていた。最近、このような問題を解決した新しい軽量骨材が開発された¹⁾。この軽量骨材の基本的性質は表-1に示すように、絶乾比重が0.8と従来の軽量骨材に比べてかなり軽く、24時間吸水率は4%以下で、実積率は形状が球形であるため63%以上ある。写真-1に新しく開発された軽量骨材を示す。これをPC部材に適用する前に、まず、この軽量骨材を用いたコンクリートの基本的

表-1 新しく開発された軽量骨材の基本的性質¹⁾

絶乾比重	0.8
吸水率 (wt%)	約4.0以下
実積率 (%)	63以上
粗粒率	約6.50

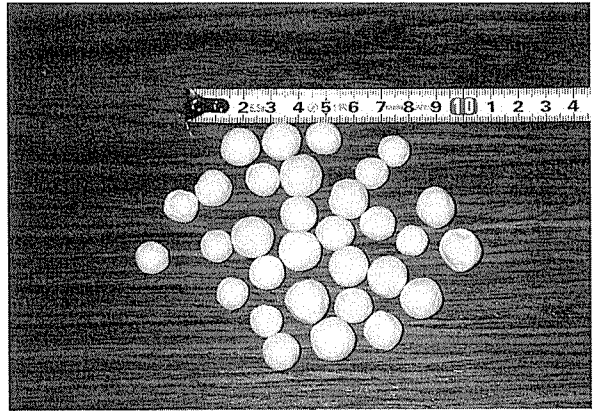


写真-1 新しく開発された軽量骨材

表-2 新しく開発された軽量コンクリート、従来の軽量コンクリート、普通コンクリートの力学的性状の比較¹⁾

コンクリートの種類	新しく開発された軽量コンクリート	従来の軽量コンクリート	普通コンクリート
比 重	1.2	1.7	2.3
圧縮強度 (N/mm ²)	35 (1)	(1)	(1)
引張強度 (N/mm ²)	2.0 (1/18)	(1/10~1/15)	(1/10~1/13)
曲げ強度 (N/mm ²)	4.0 (1/9)	(1/6~1/10)	(1/5~1/8)
せん断強度 (N/mm ²)	3.3 (1/11)	(1/6~1/8)	(1/4~1/6)
ヤング係数 (kN/mm ²)	13	19*	30*

() : 圧縮強度に対する比率

* : 圧縮強度が超軽量コンクリートと同程度 (35N/mm²) の場合

な力学的性質を見てみることにする。表-2は新しく開発された軽量骨材、従来の軽量骨材、普通骨材を用いたコンクリートの基本的力学的性状を示したものである。新しく開発された軽量骨材を用いたコンクリートの比重は1.2と最も軽く、また、引張りおよびせん断強度が小さく、ヤング係数も小さい性質がある。図-1は圧縮応力-ひずみ関係を示したものである。軽量コンクリートの応力-ひずみ特性は、破壊付近まで直線性を保ち、最大耐力以降急激に破壊する性状を示している。図-2は乾燥収縮ひずみ特性を示したもので、従来の軽量コンクリートでは骨材中に多量の水分を含有しているため、この水分が緩慢な速度でコンクリート中のセメントペースト部に供給され、外気に放出されるため、乾燥収縮ひずみは初期には小さく長期には増加していく傾向がある。新しく開発された軽量コンクリートは従来の軽量コンクリートと普通コンクリートの中間にある。クリープ特性は材齢200日でクリープ係数が約0.9とか



* Hiroshi MUTSUYOSHI

埼玉大学
工学部 建設工学科 教授

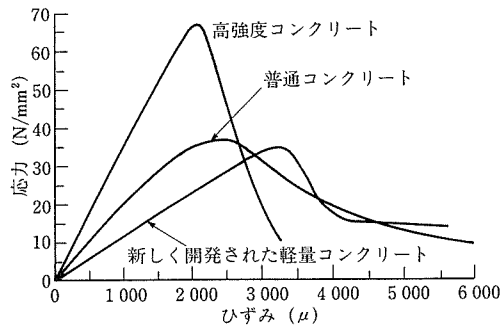


図-1 圧縮応力-ひずみ性状¹⁾

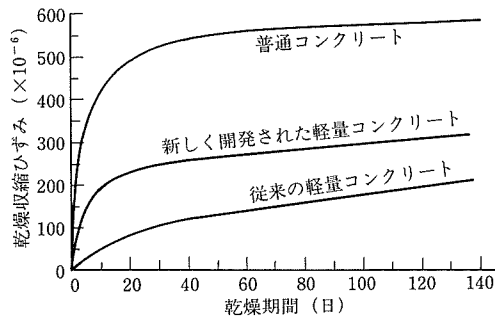


図-2 乾燥収縮ひずみ¹⁾

なり小さな値である。これは初期弾性ひずみが大きくなるからであり、軽量コンクリートの場合はクリープ係数よりもクリープひずみで評価する必要がある。

2.2 軽量コンクリートを用いたPC橋梁の試設計例²⁾

ここでは新しく開発された軽量骨材を用いたPC橋梁の試設計例を紹介する。図-3は設計に用いたPC箱桁橋の断面図を示したものである。試設計には表-3に示すように、径間数、スパン長、桁高を変化させて検討を行った。また、すべての場合において、内ケーブルと外ケーブルを併用し、使用したPC鋼材は、内ケーブルに12S15.2、外ケーブルに19S15.2を用いている。表-4は試設計に用いたコンクリートの諸数値を示す。コンクリートの配合は、水セメント比(W/C)を30%とし、細骨材には川砂、粗骨材には比重1.2の軽量骨材と、川砂利を用いている。試設計の条件として、軽量骨材を用いたコンクリートの引張強度を、普通コンクリートの70%とした。また、軽量コンクリートを用いたPC橋のウェブ厚は普通コンクリートを用いた場合と同じとした。

表-5に各試設計の計算結果を示す。表から分かるように、径間数およびスパンにかかわらず、軽量コンクリートを用いることによって主桁重量が低減されている。本試設計結果によれば、軽量コンクリートを用いたPC橋の重量は、普通コンクリートを用いた場合の69%にまで軽量化することが可能である。

3. 新しい構造形式による軽量化の試み

近年、経済性、施工性、軽量化、景観等を追求した新しい構造形式のPC橋梁が開発されてきている。この中で、桁自重の軽量化を目的として開発されたPC橋梁がいくつか見受けられる。一つは波形鋼板ウェブPC橋であり、もう一つは合成トラスPC橋である。写真-2は最近わが国で完成した

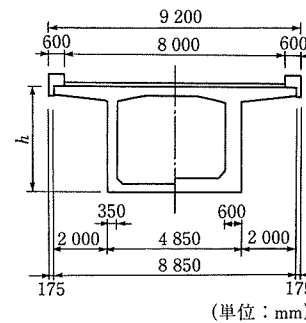


図-3 PC箱桁の断面図²⁾

表-3 PC箱桁橋の試設計要因²⁾

	桁高比 h/L	径間数	スパン長 L (m)	桁高 h (m)
普通コンクリート	1/17	単 純	30	1.80
			60	3.50
		3 径間	30	1.80
			60	3.50
軽量コンクリート	1/20	単 純	30	1.50
			60	3.00
		3 径間	30	1.50
			60	3.00

表-4 試設計に用いたコンクリートの性状²⁾

	普通コンクリート	新しく開発された軽量コンクリート
設計基準強度	50 (N/mm ²)	50 (N/mm ²)
PCの単位重量	2.5 (tf/m ³)	1.85 (tf/m ³)
弾性係数	33 (kN/mm ²)	21 (kN/mm ²)
クリープ係数	2.6	2.0
乾燥収縮度	200×10^{-6}	200×10^{-6}

表-5 PC箱桁橋の試設計結果²⁾

(a) 3 径間, スパン $L=60$ m		総反力 (tf)
普通コンクリートPC橋	3 180	(1.00)
軽量コンクリートPC橋	2 192	(0.69)
(b) 3 径間, スパン $L=30$ m		総反力 (tf)
普通コンクリートPC橋	1 259	(1.00)
軽量コンクリートPC橋	870	(0.69)
(c) 単純, スパン $L=60$ m		総反力 (tf)
普通コンクリートPC橋	994	(1.00)
軽量コンクリートPC橋	693	(0.70)
(d) 単純, スパン $L=30$ m		総反力 (tf)
普通コンクリートPC橋	409	(1.00)
軽量コンクリートPC橋	291	(0.71)

波形鋼板ウェブPC橋の本谷橋である。また、写真-3はフランスにある Sylans 橋でウェブはトラス構造となっている。ここでは波形鋼板ウェブPC橋と合成トラスPC橋を取り上げ、桁の軽量化という観点から、一般のPC箱桁橋と比較してみることにする。

波形鋼板ウェブPC橋はコンクリートウェブを波形鋼板に置き換えた橋梁形式で、当然のことながら、桁重量は軽くなる。また、合成トラスPC橋も同様な考えで、ウェブをコ

ンクリートトラスあるいは鋼トラスに置き換えている。ここでは、このようなPC橋梁が従来のPC箱桁橋と比較してどの程度軽くなるかを比較検討した。

比較に用いた橋梁形式は、図-4に示すように、スパンが90m+150m+90mの3径間連続ラーメン橋で、内外ケーブル併用方式としており、張出し架設を想定している。波形鋼板ウェブPC橋の適用スパンは40m~120m程度と言われているが、ここでは比較のために図のようなスパンを設定した。また、合成トラスPC橋のトラスは鋼部材を用いてい



写真-2 本谷橋⁴⁾



写真-3 Sylans 高架橋⁴⁾

る。表-6は試設計結果を示したものである。中間支点の最大反力(活荷重を含む)を比較してみると、PC箱桁橋を1.0とした場合、合成トラスPC橋は0.84、波形鋼板ウェブPC橋では0.68となり、PC橋を合成構造とすることによって明らかに上部工のかなりの軽量化が可能である。

4. 軽量コンクリートを用いた波形鋼板ウェブPC橋

上で述べたように、PC橋梁を軽量化するためには、①軽量骨材を用いたコンクリートの軽量化、②波形鋼板ウェブあるいは合成トラス等の複合構造形式の適用が考えられる。いま、軽量骨材を用いたコンクリートを波形鋼板ウェブPC橋に適用した場合を考えてみる。試設計に用いた断面は、PC箱桁橋(図-3)と比較するために、図-5に示すような断面を仮定した。また、検討要因は表-3に示すものと同じである。表-7は試設計結果から得られた主桁の総反力を示す。軽量コンクリートを用いた波形鋼板ウェブPC橋は普通コンクリートを用いたPC箱桁橋に比べ、3径間でスパンが60mの場合、主桁重量は54%程度となる。すなわち、材料の軽量化と複合構造を組み合わせることによって、大幅な上部工の軽量化が可能となった。

5. ま と め

コンクリート構造物の軽量化はPC構造物にかかわらず、

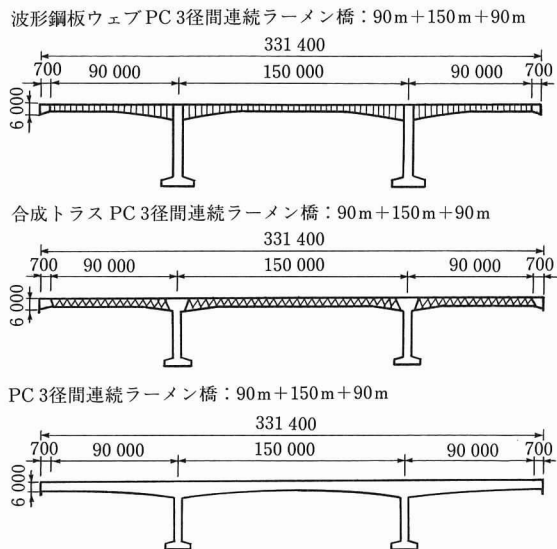


図-4 計算に用いた複合構造橋梁形式³⁾

表-6 複合PC橋の材料比較³⁾

	波形鋼板ウェブPC橋	合成トラスPC橋	PC箱桁ラーメン橋
コンクリート (m ³)	2 700	3 187	3 973
型 枠 (m ²)	7 792	9 435	13 795
手 金 (tf)	364	430	516
PC鋼材 内ケーブル (tf)	29	90	135
外ケーブル (tf)	72	47	35
横 締 め (tf)	26	31	31
波形鋼板orトラス鋼材 (tf)	231	241	
鋼管充填コンクリート (m ³)		140	
中間支点反力最大値 (tf)	4 450 (0.68)	5 497 (0.84)	6 565 (1.00)

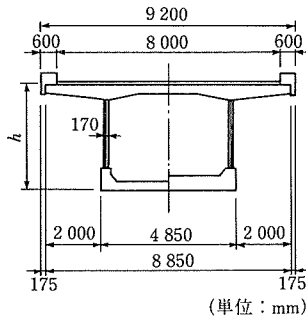


図-5 波形鋼板ウェブPC橋の断面図²⁾

建設構造物全体における大きな課題である。ここでは、主にPC橋梁を取り上げ、軽量骨材を用いたコンクリートの軽量化、複合構造形式による軽量化、両者を組み合わせた軽量化について最近の取組みを簡単に紹介した。上部工を軽量化することにより、構造物全体の耐震性が向上するとともに、橋脚、基礎等の下部工も大幅な数量を減じることが可能となり、建設コストを低減させることができる。また、PC橋梁の長スパン化、新しい橋梁形式の開発等も可能となり、21世紀に向けて新たな飛躍が期待できるものと思われる。今後は、軽量化によって生じるさまざまな問題点(振動、鋼とコンクリートの接合方法、材料コスト、長期耐久性等)を検討していくことが必要である。

表-7 波形鋼板ウェブPC橋の計算結果²⁾

径間, スパン	コンクリートの種類	総反力 (tf)
3 径間, スパン $L=60$ m	普通コンクリート	2 357 (0.74)
	軽量コンクリート	1 724 (0.54)
3 径間, スパン $L=30$ m	普通コンクリート	1 113 (0.88)
	軽量コンクリート	803 (0.64)
単純, スパン $L=60$ m	普通コンクリート	757 (0.76)
	軽量コンクリート	564 (0.57)
単純, スパン $L=30$ m	普通コンクリート	381 (0.93)
	軽量コンクリート	283 (0.69)

() は普通コンクリートを用いたPC箱桁橋との比

謝 辞

本論を執筆するにあたって、ドーピー建設工業(株)の濱田譲氏、(株)ピー・エスの佐藤幸一氏から貴重なご助言をいただいた。ここに謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 岡本, 早野, 柴田: 超軽量コンクリート, コンクリート工学, Vol.36, No.1, pp.48~52, 1998
- 2) 田村, 立神, 上平, 石川, 前堀: 高性能軽量骨材コンクリートおよび波形鋼板を用いたPC橋の試設計, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集第5部, pp.670~671, 1999
- 3) 高速道路調査会: PC橋の複合構造に関する調査研究, 1999
- 4) 陸好: 外ケーブルを利用した橋りょう架設と補修・補強, コンクリート工学, Vol.35, No.12, pp.3~11, 1997.12

【1999年9月16日受付】