

軽量コンクリートの設計法について

九州大学工学部 正員 水野高明

九州大学大学院 学員 ○清永定光

1.まえがき

筆者らは、これまで人工軽量骨材を用いた軽量コンクリートの諸々の性質について発表してきたが今回は、軽量コンクリートのスリヘリ試験とビーム試験を行なったのでその結果を報告し、設計面への応用を試みた。先ずこれまでわかっている軽量コンクリートの一般的な性質をまとめてみると
ワーカビリティー：骨材の自重が小な為、普通コンクリートと同一のスランプ値を得るためには、単位水量を幾分増さねばならないが、ケリボール、締め固め係数試験などではその差があまり認められない。
圧縮強度：普通コンクリートの場合と同様、水セメント比の法則に従うが、普通コンクリートと同一強度を出す為には、単位セメント量を幾分増加してやらねばならない。

曲げ強度：圧縮強度が増加するにつれて曲げ強度も増加するが、同一圧縮強度の場合、軽量コンクリートは普通コンクリートにくらべその曲げ強度は10~20%小さい。純引張強度もこの傾向にある。

弾性係数：圧縮強度の同じ普通コンクリートと比べた場合、その値は70~80%程度でかなり小さい。

2.スリヘリ試験

軽量コンクリートは、自重軽減の目的から橋梁の床版又は舗装への使用例が多いので、その際普通コンクリートにくらべて、まもう量が多いのではないかと懸念のもとに行なったのがこの実験である。スリヘリ試験に関しては現在特に規定がないので

独自の方法で行なった。すなわち試験機は九大土木実験室備付のアムスラー型スリヘリ試験機(図-1)を用いた。この試験機は供試体の下面をまもう面とし、水及研磨材を落下しつつ鋼板を回転させる仕組みである。一回転が2m走行に当り本実験では2000回転、即ち4000m走行させた。なお荷重はコンクリートの自重

も含め約28kg、研磨材(金剛砂)の落下量は一分間約30gに統一した。供試体は $\phi 15 \times 30$ のシリンダーを用い、比較のため普通コンクリートのスリヘリ試験も実施した。実験結果は表-1に示す通りである。この結果をみると軽量コンクリートのまもう量は普通コンクリートに比して相当大きくでている。これは軽量コンクリートの場合、圧縮強度は大きくても、骨材自体の強度が小さく、又施工中、骨材が浮き上がってくる傾向にあるので、まもう量が大きくなると考えられ、これは軽量コンクリートの使用上

図-1 スリヘリ試験機略図

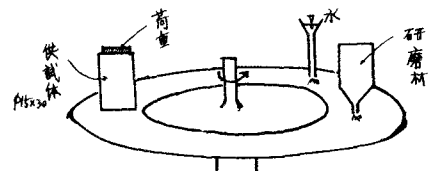


表-1 スリヘリ試験結果

	圧縮強度	試験前重量	試験後重量	$\frac{A-B}{A} \times 100$	スリヘリ高さ
	kg/cm ²	A kg	B kg	%	cm
普通コンクリート	18.8	12.35	11.80	4.49	1.37
	25.7	12.71	12.27	3.42	1.07
	38.2	12.70	12.29	3.23	1.09
軽量コンクリート	21.6	9.47	8.60	9.19	2.99
	30.0	9.41	8.59	8.69	2.66
	33.0	9.67	8.96	7.43	2.38

注意すべき点と思われる。

3. ビーム試験

土木学会の「軽量コンクリート設計施工指針(案)」の28条(2)によると断面の決定又は応力度の計算では鉄筋とコンクリートのヤング係数比 n を一般に15としてよい。」とうたっている。

軽量コンクリートの場合、常に $n=15$ とするのが適当かどうかは疑問である。この試験の目的は、ビームの曲げ試験により、中立軸の位置を測定し、弾性係数比 n の値を求めようとするものである。

コンクリートの強度は、200、300、350 kg/cm^2 (それぞれ L-20、L-30、L-35 と記号をつける。)を目標とした。その配合は表-2に示す。実験概要は図-2に示す通りである。

今図3において $p = \frac{A_s}{bd}$, $p' = \frac{A_s'}{bd}$

$$k = \frac{x}{d}, \delta = \frac{d'}{d} = \frac{A_s'}{A_s}, d_{ci} = \frac{d_c}{d}$$

とすれば、中立軸の位置は、

$$k = np \left\{ (1 + \delta + \frac{\delta}{np} (1 + d_{ci})) - (1 + \delta) \right\} \quad (1)$$

で与えられる。

従って本実験では鉄筋が許容応力に達した時の中立軸の位置を測り(1)式により n 値を算出した。

その結果は表-3に示す通りである。

つまり鉄筋比は次式で与えられる。

$$p_b = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{d_{ci}}{n} \right) \left\{ \frac{d_{ci}}{n} (1 + \delta d_{ci}) - (n-1) \delta (1 - d_{ci}) \right\}} \quad (2)$$

つまり鉄筋比以上($p > p_b$)では、コンクリートの方が先に許容応力に達し、その時の抵抗モーメントは

$$C_1 = \frac{M}{bd^2} = \frac{\sigma_c}{k} \left\{ \frac{1}{6} k^2 (3 - k) + \delta (n-1) p (k - d_{ci}) (1 - d_{ci}) \right\} \quad (3)$$

つまり鉄筋比以下($p < p_b$)の場合、鉄筋の方が先に許容応力に達し、その時の抵抗モーメントは

$$C_2 = \frac{M}{bd^2} = \frac{p \sigma_s}{3(1-k)} \left\{ (1-k)(3-k) - \delta (k - d_{ci})(3d_{ci} - k) \right\} \quad (4)$$

で与えられる。

L-20 L-30 L-35 それぞれの場合、 C_1 , C_2 の計算結果をグラフにしたのが図-6 ~ 図-8 である。

表-2 コンクリートの配合

記号	単位水量 kg	単位水質 kg	W/C	単位粗骨材量 kg	粗骨材量 $20 \sim 10 \text{mm}$	粗骨材量 $10 \sim 5 \text{mm}$	圧縮強度
L-20	400	180	45	716	229	343	216
L-30	370	178	48	686	243	365	300
L-35	450	180	40	712	343	229	330

セメントは普通ポルトランドセメント 比重 3.14

細骨材は海の甲道砂 比重 2.56

粗骨材は膨脹珪岩(Y社製人工軽量骨材) 比重 $20 \sim 10 \text{mm}$ 1.30

$10 \sim 5 \text{mm}$ 1.33

*材料全 7日

図-2 実験概要概要

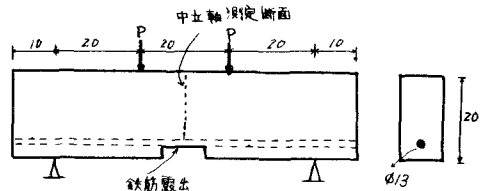


図-3

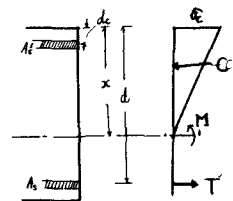


表-3 n 値

記号	ビームテストの n 値	静弾性係数 $E_s \times 10^5$	用左の n 値
L-20	25	1.81×10^5	11.6
L-30	22	2.04×10^5	10.3
L-35	18	2.24×10^5	9.4

現在おこなわれている、いわゆる常用設計式では、鉄筋コンクリート断面は、鉄筋またはコンクリートの許容応力度をこえない様に設計している。したがって弾性係数比 n が大きく関係してくる。この影響を単鉄筋矩形はり断面を例にとり調べてみる

図-3において ($A'_s=0$ の場合) コンクリートの圧縮合力 $C = \frac{1}{2} \times b \times x \times \sigma_c$ (5)

鉄筋の引張合力 $T = n \times \sigma_s \times \frac{d-x}{x} A_s$ (6)

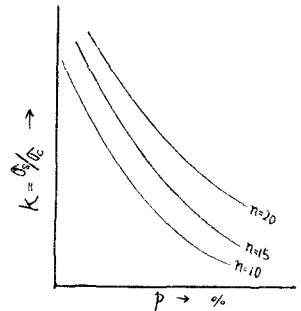
中立軸の位置 $x = \left\{ -np \sqrt{2np + (np)^2} \right\} d$ (7)

(6)より $\frac{T}{A_s} = \sigma_s = n \sigma_c \frac{d-x}{x} = K \sigma_c$ (8)

$K = \frac{d-x}{x} n = \frac{\sigma_s}{\sigma_c}$ (9)

中立軸位置 x は鉄筋またはコンクリートの応力 σ, σ_c には無関係に弾性係数比 n と鉄筋比 p だけにより一義的にきまるから、(7)からいろいろの p に対する中立軸位置 x を求め、これより鉄筋とコンクリートとの応力比 K を(9)から計算すると図-4の傾向を得る。図から明らかのように弾性係数比 n が小さくなる程 K は小さくなる。このことは天然普通骨材と人工軽量骨材を用いた同一鉄筋比のはり断面の場合に、鉄筋引張力 σ_s が同じになるように両者に載荷したとき、 n 値の大きい人工軽量骨材コンクリート断面では、コンクリート圧縮縁応力 σ_c が小さくなることを意味する。

図-4



逆に σ_c を同じになる様に載荷すると σ_s は n 値の大きい方が大きくなる。

つまり鉄筋比以下の場合には、コンクリート圧縮縁応力が異っても、鉄筋応力が同じであれば荷曲げモーメントもほぼ同じであるが、つまり鉄筋比以上になって断面設計が圧縮縁応力 σ_c でできる場合には載荷モーメントもかなり異なる。つまり鉄筋比以上の設計となる場合には、同じ設計モーメントに対して必要な鉄筋量は n 値の大きい方が少なくて済む。したがってつまり鉄筋比以上の設計となる場合には、普通コンクリートはりより、ますますたわみが大きくなる傾向となり破壊耐力も小さくなるので、つまり鉄筋比以下におさえるよう、断面設計を行なうことが必要と思われる。

図-5は実際の荷重-たわみ曲線を示すが n 値の違いによる顕著な差違は認められず同じ傾向を示している。

図-5 荷重-たわみ曲線

