

型わくの形状、寸法および材質がコンクリートの振動締め固め効果におよぼす影響

徳島大学工学部 正員 工博 荒木謙一

〇河野 清

京都大学工学部 学生員

水口裕之

1. まえがき

型わくの材質や形状、寸法はコンクリートの振動締め固め効果と密接な関係があると思われるが、これらの影響については研究した結果はそれほど少なく、高振動数で締め固める場合には鋼製型わくが木製のものより締め固め効果が高いというKokubo¹⁾の報告や木製型わくでは低振動数で振働を大きくする方がよく、打込み高さが大きいと振働が吸収されるので締め固め効果があるという(Asens²⁾報告があるに過ぎない。したがって、型わくの形状、寸法および材質などを、またコンクリートの種類もあえて、振動台の締め固め効果におよぼす型わくの影響を実験的に検討した。

2. 型わくの寸法および材質の振動締め固め効果への影響

(1) 実験の概要

普通ポルトランドセメント(比重=3.15, 28日強度=406 N/cm^2)を用いた。粗骨材は吉野川産の川砂利で、30~20, 20~10および10~5mmの3種粗度区分にふるい分け、最大寸法は30mmと20mmのものを使用した。細骨材は吉野川砂(FA=272)を用いた。コンクリートは表-1に示す配合とした。

型わくは形状、寸法および材質を表-2に示すものを用い、材質ははり型わくの3)木製と鉄製との2種におよび、型わく数は各種とも4本とし、28日検査とした。

コンクリートの練り混ぜには、強制練り混ぜを用いたモルタルで1分、粗骨材を投入して1分練り混ぜたのち、上述の型わくを詰め、振動数5000rpm、振幅0.8mmの振動台に同じ寸法の2個の型わくを取りつり20秒間締め固めを行なった。所定の締め固めを終了した供試体は翌日脱型し、検査28日目で水中養生した。この検査で円筒供試体は圧縮強度と動弾性係数、はり供試体は曲げ強度を求めた。

なお、加速度振動計を用いてテーブル型わくに取り付け位置、取りつり位置、型わくの頂面、コンクリートを詰め締め固めする場合の振動測定を行った。(写真-1参照)。

(2) 実験結果とその考察

1) 型わく寸法の影響：型わくの寸法とえた場合のコンクリートの圧縮強度および曲げ強度を表-3に示す。この結果にみられるように、円筒供試体 $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ と $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ との強度はほぼ同じである。棒状振動機で締め固めの場合の既往の研究結果^{3,4)}も $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ と $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ との強度は実用上同じにして差し支えないという結論がみ出されている。なお、小型供試体のほうで強度のバラツキはやや大きくなる傾向がある。コンクリートの動弾性係数は最大寸法20mmの配合では $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$, $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ と

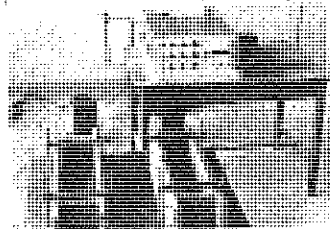
表-1. コンクリートの配合

Mr/Ms	Ms (mm)	S (mm)	W (%)	F (%)	W (%)	C (kg)	S (kg)	G (kg)
P-20	20	2~3	46.9	44	150	320	838	1089
P-30	30	2~3	44.4	39	142	320	752	1136

表-2. 使用した型わくの種類

形状	材質	寸法 (cm)
円柱形	鉄	$\phi 10 \times 20$
		$\phi 15 \times 30$
はり形	鉄	$\square 10 \times 10 \times 40$
		$\square 15 \times 15 \times 54$
	木	$\square 10 \times 10 \times 40$ $\square 15 \times 15 \times 54$

写真-1. 加速度振動計と型わくの振動測定の様子



$40.0 \times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ の値であり、30mmの場合は前者が $40.6 \times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ 、後者が $40.9 \times 10^{-4} \text{g/cm}^2$ であり、ほぼ同じ結果となっている。また、振動加速度と振幅は $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ 型わくが $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ のよりわずかに小となる傾向を示している。

さらに、はり型わくの曲げ強度は鉄筋製、木製の場合とも表-3のようになり、 $15 \times 15 \times 5 \text{ cm}$ より $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の小型型わくを用いたほうが数パーセント強度が高くなっている。これは、 $15 \times 15 \times 5 \text{ cm}$ 型わくでは重量が814 Nと143 Nで、加速度、振幅とも $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の場合に比べて小となることや、振動中の型わく上面の加速度の変化と測定した表-4にみられるようにコンクリート量が多いと振動が吸収され、加速度が小となる傾向がみられるためと思われる。

2) 型わくの材質の影響：鉄筋製と木製型わくについて両者の曲げ強度を比較すると図-1のとおりである。 $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の小型型わくでは木製型わくの方が大きい。また、 $15 \times 15 \times 5 \text{ cm}$ ではほぼ同じ値になっている。強度のバラツキは木製型わくが明らかに大きい。これは非弾性変形が大きい型わくのそり力影響があると考えられる。なお、コンクリートの表面については強度は高いが、鉄筋製のはうがやや良好であった。木製型わくは軽くて取扱いに便利であり、低振動数で高振幅の本実験に用いた場合には鉄筋製と同様に稀な固め効果もよい。使用頻度、方法の異なる、そり力と考慮するとあまり得策ではないと考えられる。なお、型わく上面の加速度は木製型わくのほうがやや大きくなっている。

3. 型わくの形状、寸法および材質が各種コンクリートの振動締め固め効果におよぼす影響

(1) 実験の概要

セメントは普通ポルトランドセメント（比重=3.15、28日圧縮強度=41.3 N/cm^2 ）を用い、骨材はコンクリートの種類と大きさによらず表-5に示すものを使用した。型わくは前実験と同様のものを（表-2参照）を用い、その形状、寸法および材質が各種コンクリートの振動締め固め効果におよぼす影響を調べた。

単位セメント量は320 kg/m^3 の一定とし、コンシステンシーを目標スライプで6 cmと2 cmとの2種に示す表-6に示す8種の配合のコンクリートを用いた。振動締め固めには、低振動数振動台（振動数5000 rpm、振幅10 mm）と高振動数ワック-振動台（振動数7200 rpm、振幅0.15 mm）を用い、所定振動数で20秒間締め固めを行った。なお、前実験と同じく $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ と $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ の

表-3. 型わく寸法のことにより場合のコンクリートの強度

強度	材 質	圧縮強度		曲げ強度			
		鉄	鉄	鉄	鉄	鉄	鉄
寸 法	法 (cm)	$\phi 10 \times 20$	$\phi 15 \times 30$	$\phi 10 \times 20$	$\phi 15 \times 30$	$\phi 10 \times 20$	$\phi 15 \times 30$
		平均値 (MPa)	平均値 (MPa)	平均値 (MPa)	平均値 (MPa)	平均値 (MPa)	平均値 (MPa)
Ms. 20mm	強度比	98	100	108	100	109	100
	変形係数 (%)	4.8	2.6	5.6	3.6	7.4	5.0
Ms. 30mm	強度比	102	100	107	100	110	100
	変形係数 (%)	4.2	2.2	2.2	2.0	5.9	5.5

表-4. 振動時間による加速度の変化の一例

型わくの種別	振動時間 (sec) と加速度 (g)						
	0	5	10	15	20	25	30
$\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ 円柱	9.9	9.5	10.0	9.4	9.5	9.3	9.4
$10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ はり	8.2	8.0	8.1	8.0	7.7	7.8	7.6
$15 \times 15 \times 5 \text{ cm}$ はり	6.3	6.3	6.8	5.0	5.8	4.8	4.8

(注) 鉄筋製型わくでコンクリートを固めて測定

図-1. 型わくの材質による曲げ強度の比較

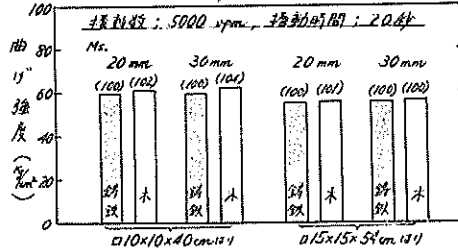


表-5. 実験に用いた骨材の種類と品質

骨材の 種類	普通骨材			人工軽集骨材			
	粗骨材	粗骨材		粗骨材	粗骨材		
	表觀比重	吸水率(%)	汚粒率(%)	A骨材	B骨材	A骨材	B骨材
表觀比重	2.62	2.61	2.60	1.81	1.90	1.35	1.38
吸水率(%)	1.16	1.28	1.30	9.19	2.80	11.6	4.22
汚粒率(%)	—	—	—	—	—	6.1	2.3
粗粒率(%)	2.81	6.77	6.61	3.15	2.97	6.58	6.58

(注) A骨材：非層型，B骨材：連続型，C骨材：粗粒集骨材

両型型製したものは、 $10 \times 10 \times 40$ cm と $15 \times 15 \times 54$ cm

はり型、と同時に1組一つのせき締め型も行なう。翌日脱型してから令和28日まで20℃の水中養生を行ない、円柱試験体では圧縮強度と弾性係数、はり試験体では曲げ強度と折れ点の圧縮速度とせき締め効果とを比較した。なお、試験体数は3本とした。

(2) 実験結果と考察

1) 円柱試験体の型わく寸法による影響： $\phi 10 \times 20$ cm と $\phi 15 \times 30$ cm 型わくでせき締め各種コンクリートの強度を示した表-7にみられるように両者の比は96~106%であり、締め効果に差はみられない。また、円柱試験体の弾性係数も各種コンクリートともほぼ同じ値を示している。なお、型わくはコンクリートと詰め、その頂面で振動速度と変位計とを $\phi 10 \times 20$ cm 型わく $\phi 15 \times 30$ cm 型わくより0.5~1.5g高はりの程度の差では締め効果にはほとんど影響を与えなかったものと思われる。

2) はり型わくの寸法および材質の影響：円砂利、砕石コンクリートについて曲げ強度および折れ点の圧縮強度とせき締め結果を表-8に示す。砕石コンクリートの曲げ強度は、配合N-6の平均が57.9%、砂利コンクリートはG-6が55.6%、G-2が58.4%であり、砂利コンクリートはG-6が55.6%、G-2が58.4%である。砕石のほうが高強度であり、これはセメント配合のコンクリート委員会報告⁽¹⁾とはほぼ同様程度である。なお、圧縮強度は砕石のほうが高くなっている。

円砂利および砕石コンクリートとも表-8に示すようにその傾向がほぼ似ているので、4種配合を平均して型わく寸法による強度とを比較すると図-2のように、寸法が小さくなるほど強度は高くなる傾向を示している。これは本型型わくのほうが高強度であり、また、曲げ強度に比べて圧縮強度のほうが寸法の影響は著しい。

つまり、型わくの材質による影響と比較すると、表-9に示すように、 $10 \times 10 \times 40$ cm の小型型わくを用いると前実験と同様の本型型わくを用いたものよりも高強度になる。また、 $15 \times 15 \times 54$ cm のほうと比べて本型型わくはより小さく高強度傾向があるが、前実験と同様に型わくのせき締め効果とを考えると、この程度の差では材質による締め効果の差はほとんどないと思われる。

表-6. 使用したコンクリートの配合

材料種類	Mix No.	M ₁ (mm)	S ₁ (cm)	W/C (%)	W (%)	C (kg)	S (kg)	G (kg)
円砂利 (G)	G-6	20	6.1	50.9	44.6	163	320	836
	G-2	20	2.1	48.1	45.3	154	320	839
砕石 (N)	N-6	20	6.1	56.3	49.6	180	320	907
	N-2	20	2.1	52.5	50.4	168	320	938
非造粒型 (A)	A-6	15	6.1	51.6	44.0	163	320	839
	A-2	15	2.1	47.8	47.0	153	320	836
造粒型 (B)	B-6	15	6.1	53.3	44.0	177	320	836
	B-2	15	2.1	50.9	47.0	163	320	836

表-7. 円柱型型わくの寸法と各種コンクリートの圧縮強度

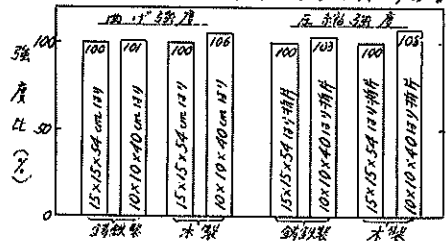
試験条件	Mix No.	$\phi 15 \times 30$ cm			$\phi 10 \times 20$ cm			強度比 $\frac{E_p}{E_{p0}} \times 100$
		圧縮強度 (N/cm ²)	弾性係数 (N/cm ²)	E _p (N/cm ²)	圧縮強度 (N/cm ²)	弾性係数 (N/cm ²)	E _p (N/cm ²)	
5000	G-6	395	1.6	39.1	381	4.1	39.1	96
	G-2	404	4.2	39.9	393	2.0	40.2	97
	N-6	345	3.3	37.0	350	3.3	37.9	101
	N-2	397	2.2	38.8	387	2.7	38.3	97
	A-6	290	1.7	18.1	296	4.2	18.1	102
	A-2	302	7.1	18.4	308	7.2	18.6	102
	B-6	294	1.3	21.3	286	2.5	21.0	97
	B-2	322	4.0	21.9	342	2.2	22.7	106
7200	G-6	393	4.9	39.4	389	2.7	39.1	99
	N-6	354	1.3	37.8	370	1.9	37.7	105
	A-6	278	2.3	17.7	286	2.5	17.6	103
	B-6	280	0.6	20.7	280	3.1	21.0	100

表-8. はり型わくの寸法および材質とせき締め効果の場合の円砂利および砕石コンクリートの曲げ強度と圧縮強度

材料の種類	配合 No.	曲げ強度 (N/cm ²)				圧縮強度 (N/cm ²)			
		300鉄	300鉄	木	木	300鉄	300鉄	木	木
円砂利	G-6	52.5 (4.2)	53.1 (3.6)	55.0 (4.0)	57.0 (3.9)	465 (3.3)	467 (3.2)	462 (3.5)	495 (3.4)
	G-2	58.6 (4.6)	58.9 (4.3)	56.6 (4.3)	59.4 (4.3)	455 (3.5)	468 (3.3)	453 (3.7)	484 (3.8)
砕石	N-6	52.4 (3.9)	58.5 (3.9)	55.8 (3.5)	60.1 (3.5)	397 (3.6)	429 (3.9)	400 (3.5)	443 (3.6)
	N-2	57.6 (4.3)	62.9 (4.9)	57.8 (4.1)	62.1 (3.0)	407 (3.8)	432 (4.3)	391 (4.9)	426 (3.8)

(1) (2) は弾性係数

図-2. はり型わくの寸法が振動台で締め固められた普通コンクリートの強度に及ぼす影響



つぎに、造粒型および非造粒型の人工軽量骨材を用いてコンクリートに用いたはり型わく寸法と材質の影響を調べた結果を示すと表-10のようになり、普通コンクリートで得られた結果とセメント比が異なる。すなわち、寸法比の値がみられるように、曲げ強度は $15 \times 15 \times 54 \text{ cm}$ より $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の小型型わくの結果が明らかに大きくなっており、圧縮強度では逆

表-9. 普通コンクリートを用いた場合の型わくの材質による強度の比較

型わくの寸法	$15 \times 15 \times 54 \text{ cm}$		$10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$		平均
材質	鉄鉄	木	鉄鉄	木	鉄鉄
型わく面強度(MPa)	6.6	7.2	6.5	7.4	—
曲げ強度比	100	98	100	102	100
圧縮強度比	100	99	100	104	101

鉄製型わくの場合には逆にセメント比が異なる。すなわち、鉄製型わくをセメント比と見比べると、小型型わくでは強度が大きい

表-10. 型わくの寸法と材質による軽量コンクリートの強度の比較

型わくの寸法		15×15×54 cm		10×10×40 cm		寸法比 $\frac{15}{10} \times 100$	
材	質	鉄	鉄	木	鉄	鉄	木
非造粒形 (A-4A-2)	曲げ強度 (MPa)	37.4 (100)	42.0 (112)	45.2 (100)	46.9 (104)	121	112
	圧縮強度 (MPa)	37.7 (100)	32.3 (86)	35.6 (100)	36.5 (103)	94	113
造粒形 (B-6B-2)	曲げ強度 (MPa)	38.2 (100)	41.8 (109)	46.3 (100)	45.4 (98)	121	109
	圧縮強度 (MPa)	38.3 (100)	31.9 (83)	35.2 (100)	34.9 (99)	92	109

注) 16mm径鉄筋を用い、5000rpmで20分間振動する。()は平均強度比

である。曲げ強度は型わくが大きい、圧縮強度では型わくが小さくなる。これは、木製型わくのセメント比の異なる材料分離の影響があらわれていると思われる。

なお、普通および軽量コンクリートを含めて型わくの形状による影響を $15 \times 30 \text{ cm}$ の円形試体の圧縮強度と $15 \times 15 \times 54 \text{ cm}$ のはり切片の値とを比較すると、はり切片の圧縮強度の平均値は19%大きくなる。セメント技術協会のコンクリート委員会報告¹⁾では、最大寸法40mmの骨材を用いた、振動用の円形切片は11~16%大きくなっており、振動なしでは本実験結果より小さくなる。

4. まとめ

小型の円形試体およびはり型わくを用いて、形状、寸法、材質による締め固め効果に及ぼす影響を検討した本実験結果をまとめると、

- (1) $15 \times 30 \text{ cm}$ の標準円形型わくと $10 \times 20 \text{ cm}$ の型わくを用いて振動台で締め固めたコンクリートの圧縮強度と弾性係数は、両型わくの試体ともほぼ同じ値であり、バランスは良好である。
- (2) 曲げ強度では、 $15 \times 15 \times 54 \text{ cm}$ のより大型の $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ のほうが多少締め固め効果は大きい傾向があり、寸法が大きいほど鉄筋型と木製型わくの材質による強度の差はみられる。
- (3) 軽量コンクリートでは、一般に寸法が小さく、かつ、曲げ強度や切片の圧縮強度は高くなるが、過振動により材料分離が生じて締め固め効果とわくするところがある。

{ 参考文献 }

- 1) J. Kulek, Civil Eng. Public Works Rev., Vol. 54, No. 633, p. 321~325 (1959).
- 2) A. R. Cusens, Mag. Conc. Res., Vol. 10, No. 29, p. 79~86 (1958).
- 3) 杉本, 皆上, 藤井, セメントコンクリート No. 194, p. 2~7 (1963).
- 4) 日本セメント技術協会コンクリート委員会, セメント技術年報 VIII, p. 235~238 (1964).
- 5) セメント協会コンクリート専門委員会, セメントコンクリート No. 264, p. 2~9 (1969).
- 6) 日本セメント技術協会, "コンクリート専門委員会報告 F-6", (May, 1958).