

# 高性能AE減水剤

高性能AE減水剤を用いた軽量コンクリートの  
基礎物性と施工性について

# ご／あ／い／さ／つ

当協会におきましては、人工軽量骨材コンクリートの特性をより良く活用していただくために、技術資料を作成しておりますが、今回は「高性能 AE 減水剤」を取りあげました。

近年、建築物の高層化に伴い、コンクリートの高強度化の研究が急速に進んでいますが、この高強度コンクリートを実現するための化学混和剤として高性能 AE 減水剤が開発され、実用に供されつつあります。

当協会ではこれらの趨勢に対応して、平成3年度に東京理科大学清水研究室に委託し、「高性能 AE 減水剤を用いた軽量コンクリートの基礎的物性および施工性に関する実験的研究」を実施しました。

本資料は、その研究成果を取りまとめたものであります。参考資料としてご利用いただければ幸甚であります。

今後とも人工軽量骨材業界およびコンクリート業界の発展のために、皆様方のご指導とご鞭撻をお願い申し上げます。

1992年12月

人工軽量骨材協会

## 1992年度 技術課題

1. 高強度軽量コンクリートの構造性能に関する技術資料集の作成ならびに講習会の実施。(日本建築学会)
2. 高性能 AE 減水剤を用いた軽量コンクリートの調合試験。
3. 軽量コンクリート合成 PC 板の試験。
4. 高強度・高品質コンクリートの開発。(建設省 New-RC 総合プロジェクト)
5. 軽量コンクリート技術資料の作成。

## 目 次

1. まえがき..... 1
  2. 基礎物性試験..... 1
  3. 施工性試験(振動締固め)..... 6
  4. 高性能 AE 減水剤を用いる軽量コンクリートの参考調合表..... 8
  5. 日本建築学会「高性能 AE 減水剤コンクリートの調合・製造および施工指針(案)・同解説」における主な軽量コンクリート関連本文..... 11
  6. あとがき..... 11
- (付)高性能 AE 減水剤とその主成分  
■最近の軽量コンクリート施工例

## 軽量コンクリート技術資料発行内容

- |       |              |
|-------|--------------|
| No. 1 | 床の遮音         |
| No. 2 | ポンプ施工        |
| No. 3 | 耐久性          |
| No. 4 | 力学的特性        |
| No. 5 | 高強度コンクリート    |
| No. 6 | 靱性能とせん断強度    |
| No. 7 | 靱性能とせん断強度(続) |
| No. 8 | ポンプ施工(続)     |
| No. 9 | 高性能 AE 減水剤   |

(資料提供)

## 1. ま え が き

近年、鉄筋コンクリート建築物の高層化、高耐久化志向が進み、使用するコンクリートに対して高い強度、より優れた施工性が要求されるようになってきている。

このようなコンクリートの実現のために、高い減水性、流動性、およびスランプ保持性をコンクリートに付与する化学混和剤として「高性能A E減水剤」(Air entraining and High-range Water Reducing Agents)が開発され、試用段階を経て実用に供され始めている。

この高性能A E減水剤に関する諸研究は、開発当初から主として普通骨材を用いたコンクリートを対象として実施されているが、高層建築など大規模建築に有利な軽量コンクリートに関する資料は極めて少ないのが現状である。

こうした経緯から人工軽量骨材協会では、本化学混和剤の軽量コンクリートに対する有効性に着目し、平成3年度に東京理科大学工学部建築学科清水研究室の御指導により、高性能A E減水剤を用いた軽量コンクリートの基礎物性、ならびに施工性(振動締固め特性)に関する一連の実験研究を行った。

本研究の成果は、本年(1992年度—北陸大会)日本建築学会大会学術講演会において「高性能A E減水剤を用いた軽量コンクリートに関する実験的研究」と題

し、4編に渡りその概要を公表するとともに、同年6月に日本建築学会において制定・発刊された、「高性能A E減水剤コンクリートの調合・製造および施工指針(案)・同解説」の中にも、本研究の成果を本文規定、および解説に盛り込むことができた。

本稿はこの研究の主要点を解説したものであり、高性能A E減水剤を用いた軽量コンクリートに対する一層の御理解と、実施工への参考となれば幸甚である。

## 2. 基礎物性試験

### (1) 試験に用いたコンクリート

#### ① 計画調査設定の考え方

本試験において取り上げた要因と水準を表1に、また実施した試験項目を表2に示す。

試験に使用した軽量コンクリートの調合は、既存の調合例を参考に、A E減水剤を用いた場合の試し練りによって定め、この調合を基準として、高性能A E減水剤を用いた軽量コンクリート1種および2種の調合を設定することとした。

また、軽量コンクリートは、ベースコンクリートのスランプが15cm程度の流動化コンクリートとして施工される例が多いため、この点を考慮して、A E減水剤を用いてスランプ15cmとしたコンクリートと、これと単位水量が同一で高性能A E減水剤を用いた、スランプ18cmおよび21cmのコンクリートとの比較検討を行うこととした。

#### ② 使用材料

セメントは、普通ポルトランドセメントとし、3社

表1 要因と水準

要因	水準
コンクリートの種類	軽量コンクリート 1種 軽量コンクリート 2種
水セメント比	40, 45, 50, 55%
単位水量	165~205kg/m <sup>3</sup>
スランプ	15, 18, 21±1cm
空気量	5±1%
セメント	普通ポルトランドセメント (3銘柄等量混合)
粗骨材	人工軽量骨材(M社製)
細骨材	人工軽量骨材(M社製) 川砂(大井川水系)
混和剤	なし(プレーン) A E減水剤・標準形(L) 高性能A E減水剤・標準形 { ・ポリカルボン酸系(P) { ・ナフタリン系(N)

表2 試験項目

フレッシュコンクリート		硬化コンクリート
基礎物性試験	スランプ	圧縮強度
	空気量	引張強度
	単位容積質量	静弾性係数
	フリージング	長さ変化
	凝結時間	凍結融解
	経時変化	

表3 使用骨材の品質

種類	絶乾比重	吸水率(%)	洗い損失量(%)	実積率(%)	粗粒率
川砂	2.58	1.75	1.4	68.0	2.60
人工軽量細骨材	1.69	12.5	4.9	58.7	2.60
人工軽量粗骨材	1.30	26.5	—	63.5	6.34

等分混合したものを用いた。

使用骨材の品質を表3に示す。骨材の粒度分布は、砂はJASS 5に、人工軽量細・粗骨材はJIS A 5002（構造用軽量コンクリート骨材）にそれぞれ規定される、標準粒度範囲のほぼ中間に位置する粒度特性を有するものを使用した。

化学混和剤のうち、高性能AE減水剤は、ポリカルボン酸系（P）およびナフタリン系（N）の標準形を使用した。

また基準となるAE減水剤は、リグニン系（L）の標準形を使用した。

### ③ 調合選定実験

まず、日本建築学会「軽量コンクリート調合設計・施工指針(案)」を参考とし、AE減水剤を用いて所定のコンシステンシー、ワーカビリティを得るために必要な単位水量および単位粗骨材かさ容積を、試し練りを行って定めた。

次に、AE減水剤で採用した細骨材率を同一とし、

表4 調合選定試験結果

W/C (%)	スランブ (cm)	コンクリート種類	混和剤	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )		粗骨材かさ容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	細骨材率 (%)	スランブ (cm)	スランブフロー (cm)	空気量 (%)	ワーカビリティ (目視)
				水	セメント						
50	18	1 種	AE減水剤	185 180	370 360	0.570 0.560	44.1 45.7	20.5 18.5	35.0 34.5	4.8 5.3	やや粗い 良好
			高性能AE減水剤	170	340	0.575 0.560	45.7 47.0	20.0 19.0	34.5 32.0	4.6 5.2	やや粗い 良好
		2 種	AE減水剤	180 178 175	360 356 350	0.550 0.560 0.560	46.8 46.0 46.4	20.5 19.5 18.0	33.5 31.5 30.5	5.7 5.9 5.5	やや粗い 良好
			高性能AE減水剤	165	330	0.574 0.560	46.4 47.7	18.0 19.0	30.0 32.0	4.9 5.3	やや粗い 良好

表5 試験計画（基礎物性試験）

コンクリートの種類	水セメント比 (%)	スランブ (cm)	混和剤の種類	細骨材率 (%)	単位粗骨材かさ容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )	
						水量	セメント
1 種	40	15	AE減水剤	41.9	0.590	175	438
		18	高性能AE減水剤	44.0	0.560		
	45	15	AE減水剤	43.2	0.590	170	378
			高性能AE減水剤	44.6		180	400
		18	高性能AE減水剤	46.1	0.560	170	378
	21	高性能AE減水剤	48.9	0.530		170	378
	50	15	AE減水剤	45.2	0.580	170	340
			なし	47.2		0.540	205
		18	AE減水剤	45.7	0.560	180	360
			高性能AE減水剤	47.0		170	340
	21	高性能AE減水剤	50.9	0.520	170	340	
		高性能AE減水剤	50.9	0.520	170	340	
55	18	AE減水剤	47.7	0.550	180	327	
		高性能AE減水剤	48.8		170	309	
	21	高性能AE減水剤	51.6	0.520	170	309	
2 種	50	15	AE減水剤	44.9	0.590	165	330
		18	なし	47.9	0.540	200	400
			AE減水剤	46.4	0.560	175	350
		高性能AE減水剤	47.7	165		330	
		21	高性能AE減水剤	51.5	0.520	165	330

\* 軽量コンクリート1種および2種の空気量は5±1(%)とした

単位水量を  $10\text{kg}/\text{m}^3$  減じた調合、および単位粗骨材かさ容積を同一とし、同じく単位水量を  $10\text{kg}/\text{m}^3$  減じた調合のコンクリートを製造し、目視によってそれぞれのワーカビリチーを観察した。高性能AE減水剤(P)を用いて行った調合選定試験の結果の一部を表4に示す。

試験の結果、高性能AE減水剤を用いた軽量コンクリートでは、1種、2種ともに水セメント比およびスランブを同一とした場合、AE減水剤を用いたコンクリートと同一の単位粗骨材かさ容積とすることによって、ほぼ満足するワーカビリチーを有する調合を定めることができた。

本試験の結果に基づき基礎物性試験に用いるコンクリートの調合を表5のごとく定めた。

なお、基礎物性試験に用いるコンクリートのうち、高性能AE減水剤を用いたものの単位水量は、同一スランブのAE減水剤を用いたコンクリートの単位水量から  $10\text{kg}/\text{m}^3$  減じた値としているが、これはAE減水剤を用いたコンクリートに対して、約6%の減水率に相当するものである。

## (2) フレッシュコンクリートの性状

### ① 高性能AE減水剤の減水性能

水セメント比が45~55%の範囲内で、単位水量を  $170\text{kg}/\text{m}^3$  とし、スランブを18cmとするために必要な高性能AE減水剤の使用量は、ポリカルボン酸系およびナフタリン系のいずれの場合も、水セメント比が大きくなるのにもとない、やや増加する傾向が認められる。

また、同一スランブを得るのに必要な高性能AE減水剤の使用量は、成分系により異なり、ポリカルボン酸系ではセメント量の0.8~1.0%、ナフタリン系では1.2~1.4%であった。

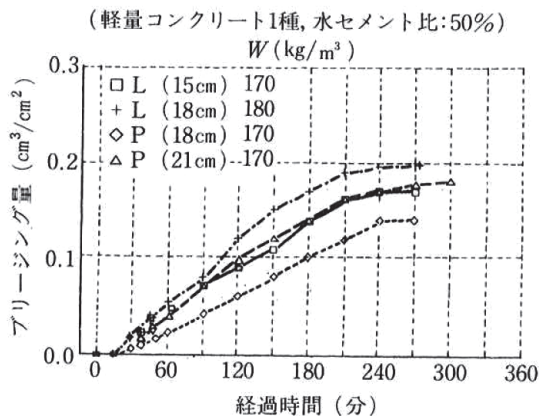


図1 経過時間とブリージングの量の関係

### ② ブリージング性状

図1に水セメント比を50%とした軽量コンクリート1種の経過時間とブリージング量の関係を示す。

また、図2に高性能AE減水剤を用いてスランブを18および21cmとしたコンクリートの、AE減水剤を用いたコンクリートに対するブリージング量の比を示す。

AE減水剤を用いてスランブを15cmとしたコンクリートと単位水量を同一とし、高性能AE減水剤を用いてスランブを18cmとした場合、AE減水剤に対するブリージング量の比はポリカルボン酸系では平均74%、ナフタリン系では平均87%であった。また、AE減水剤を用いたコンクリートの単位水量から  $10\text{kg}/\text{m}^3$  減じた場合のAE減水剤に対するブリージング量の比は、スランブをAE減水剤と同一とした場合ポリカルボン酸系では平均67%、ナフタリン系では平均76%であり、さらにスランブを21cmとした場合ではポリカルボン酸系で平均85%であった。

高性能AE減水剤を用いた軽量コンクリートでは、AE減水剤を用いたコンクリートに対し単位水量を同一としスランブを大きくした場合、および単位水量を減じてスランブを同一とした場合のいずれにおいても、成分系によりその程度はやや異なるものの、ブリージング量の低減することが認められた。

### ③ スランブの経時変化

経時変化試験は、強制練りミキサーで練り混ぜられたコンクリートを、角度を45度に調整した可傾式ミキサーに移し、ミキサーの回転数を2rpmに保持して、経過時間90分までアジテートする方法で行った。

図3に、水セメント比50%、スランブを18cmとし

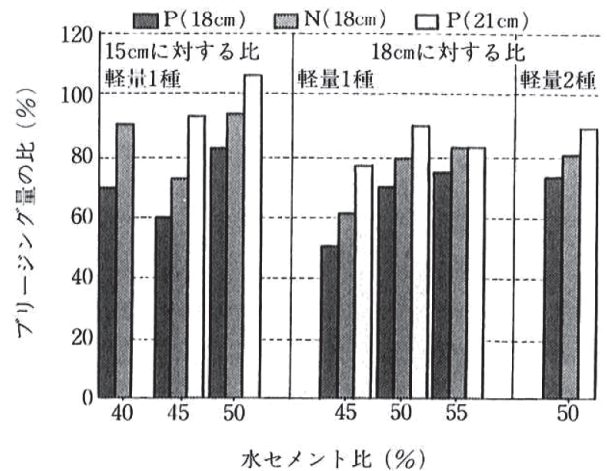


図2 AE減水剤を用いたコンクリートに対するブリージング量の比

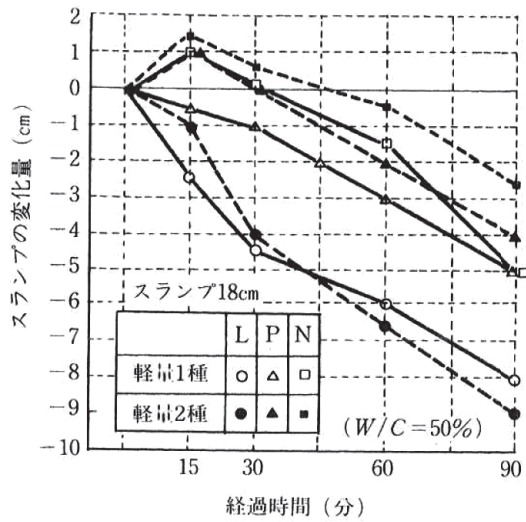


図3 スラップの経時変化

た軽量1種および2種コンクリートのスラップの経時変化を示す。経時60分後におけるスラップの変化量は、A E減水剤を用いた場合-6.0~-6.5cm であるのに対し、ポリカルボン酸系では-2.0~-3.0cm, ナフタリン系では-0.5~-1.5cm と極めて小さいものであった。

経時60分後におけるスラップの変化量は高性能A E減水剤の成分系によって異なり、水セメント比40~55%の範囲内においてポリカルボン酸系では平均-2.4cm, ナフタリン系では平均-1.3cmであった。また、練り上がり直後のスラップによっても経時60分後の変化量は異なり、水セメント比を50%としたコンクリートのスラップ18cm では平均-2.5cm, 21cm では平均-1.5cm であった。

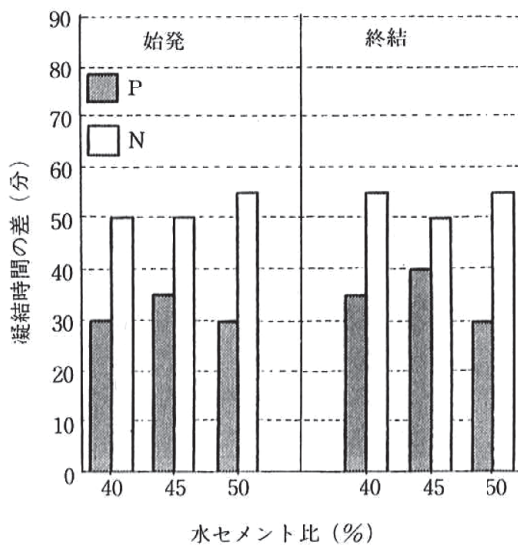


図5 A E減水剤 (15cm) を用いたコンクリートに対する凝結時間の差

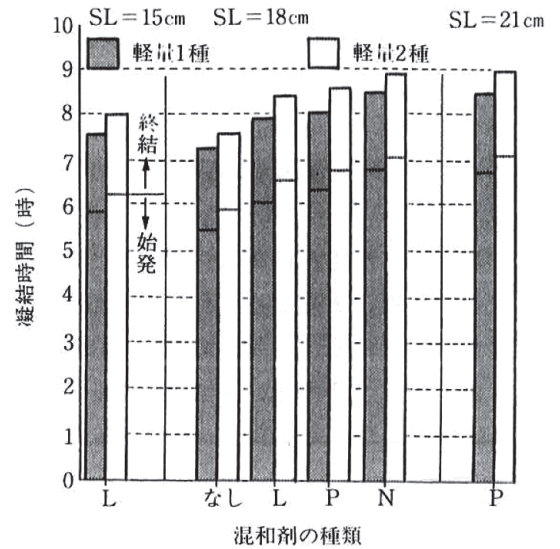


図4 混和剤の種類と凝結時間の関係 (水セメント比: 50%)

#### ④ 凝結性状

図4に水セメント比を50%としたコンクリートの凝結時間を、混和剤の種類別およびスラップ別に示す。また、図5および図6に、高性能A E減水剤を用いてスラップを18cmとしたコンクリートと、A E減水剤を用いたコンクリートとの凝結時間の差を示す。

単位水量を同一とし、高性能A E減水剤ではスラップを18cmとした場合の凝結時間は、スラップを15cmとしたA E減水剤に対し、ポリカルボン酸系では始発、終結とも30~35分, ナフタリン系では同様に50~55分程度遅延している。一方、単位水量を減じてスラップを同一とした場合の凝結時間は、A E減水剤に対しポリカルボン酸系では始発、終結とも10~20分程度, ナフタリン系では30~40分程度遅延している。

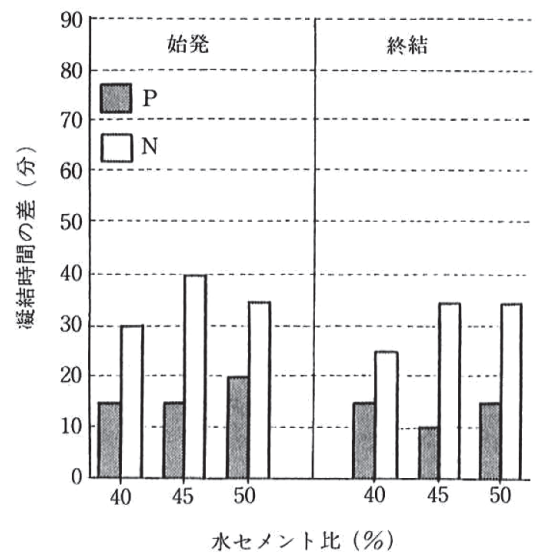


図6 A E減水剤 (18cm) を用いたコンクリートに対する凝結時間の差

高性能AE減水剤の成分系によって凝結の遅延程度が異なるのは、それぞれのスランプ保持機構の相違によるものと思われる。

### (3) 硬化コンクリートの性状

#### ① 強度性状

図7に、高性能AE減水剤を用いた軽量コンクリート1種のセメント水比と圧縮強度の関係を示す。

高性能AE減水剤を用いたコンクリートは、いずれの材令においても、AE減水剤を用いたものよりもやや大きな圧縮強度を示している。なお、材令7日、28および91日ではポリカルボン酸系とナフタリン系ともほぼ同等の圧縮強度を示しているが、材令3日においては両者の強度がやや異なることが認められた。

図8に、流動化のベースコンクリートを想定しAE減水剤を用いてスランプを15cmとしたコンクリートの圧縮強度と、高性能AE減水剤を用いてスランプを18および21cmとしたコンクリート圧縮強度の関係を示す。図からも明らかなように、高性能AE減水剤を用いたコンクリートの圧縮強度は、単位水量の多少、スランプの大小および高性能AE減水剤の成分系にかかわらず、AE減水剤を用いてスランプを15cmとしたコンクリートとほぼ同等の圧縮強度を示している。

#### ② 長さ変化

図9に、高性能AE減水剤を用いた軽量コンクリート1種および2種の長さ変化を示す。

軽量コンクリート2種の長さ変化は1種に比べ小さく、水セメント比50%における軽量の2種の長さ変化は、材令26週において軽量1種の約2/3となっている。

水セメント比45~55%において、高性能AE減水剤を用いてスランプを21cmとした軽量コンクリート1種および2種の長さ変化は、スランプが大きいにもかかわらず単位水量を同一としたスランプ18cmとほぼ

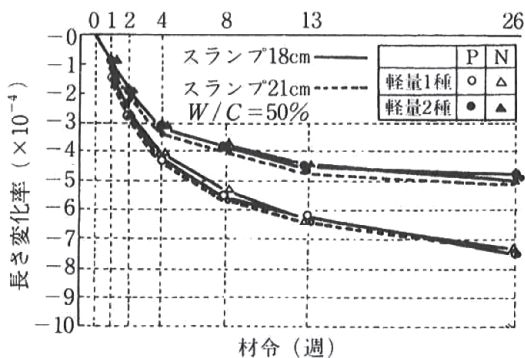


図9 軽量コンクリートの長さ変化試験結果  
(材令と長さ変化率の関係)

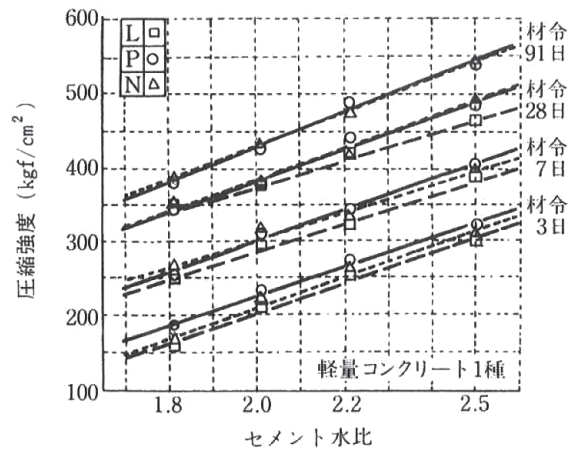


図7 セメント水比と圧縮強度の関係

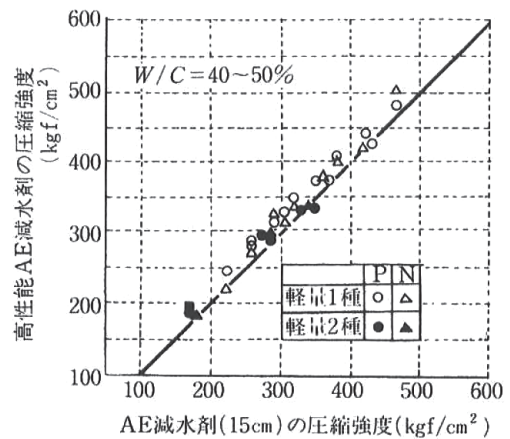


図8 軽量コンクリートの圧縮強度  
(混和剤の種類の影響)

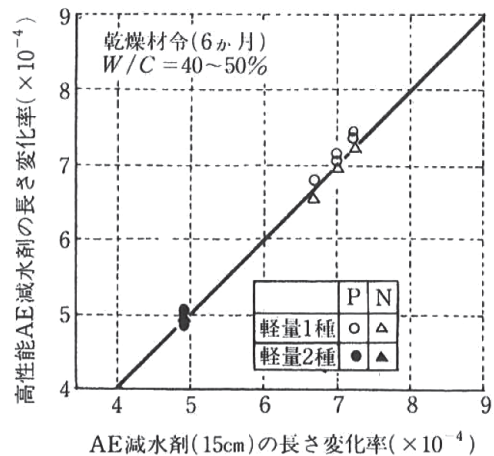


図10 軽量コンクリートの長さ変化率  
(混和剤の種類の影響)

同等の長さ変化となっている。

図10に、A E減水剤を用いてスランブを15cmとしたコンクリートの長さ変化と、これと単位水量を同一とし、高性能A E減水剤を用いてスランブを18cmとしたコンクリートの長さ変化の関係を示す。水セメント比40~50%における長さ変化は、ポリカルボン酸系とナフタリン系では大差なく、また単位水量を同一としスランブを15cmとしたA E減水剤と、高性能A E減水剤を用いてスランブ18cmとしたコンクリートの長さ変化はほぼ同等であった。

高性能A E減水剤を使用した場合、単位水量が同一であればスランブの大小にかかわらず、ほぼ同等の長さ変化を示すことが認められた。

### ③ 凍結融解に対する抵抗性

凍結融解に対する抵抗性の試験では、試験開始前の養生を水中および気中の2水準として行った。

図11に水セメント比を45%とした軽量コンクリート1種の凍結融解の繰返しサイクル数と相対動弾性係数の関係を、また図12に質量変化率の関係を示す。

試験開始までの養生を水中養生とした場合、いずれの混和剤においても凍結融解の繰返しとともに質量は増加傾向を示し、耐久性指数は約15となり著しい劣化を示している。これに対し、試験開始前の養生を気中とした場合、いずれの混和剤を用いた場合でも質量は一時増加しているが、その後減少している。また、耐久性指数は55~65であり、試験前に水中養生としたものに比べ良好な抵抗性を示している。気泡間隔係数は混和剤の種類、試験前の養生方法にかかわらずほぼ250 $\mu$ m程度であることから、軽量コンクリートの凍結融解に対する抵抗性は、試験開始時までの養生条件、つまりコンクリートの含水状態によって大きく影響されることが明らかとなった。

### (4) ま と め

本試験においては、流動化コンクリートのベースコンクリートとして想定した、A E減水剤を用いたスランブ15cmのコンクリートと、これと同一の単位水量でスランブ18cmおよび21cmの高性能A E減水剤を用いたコンクリートとの基礎物性の比較検討を行った。

試験の結果、高性能A E減水剤を用いた軽量コンクリート1種および2種のフレッシュおよび硬化コンクリートの諸性状は、使用する高性能A E減水剤の分散成分系により多少異なる場合があるものの、スランブを大きくしても、同一単位水量のA E減水剤を用いた

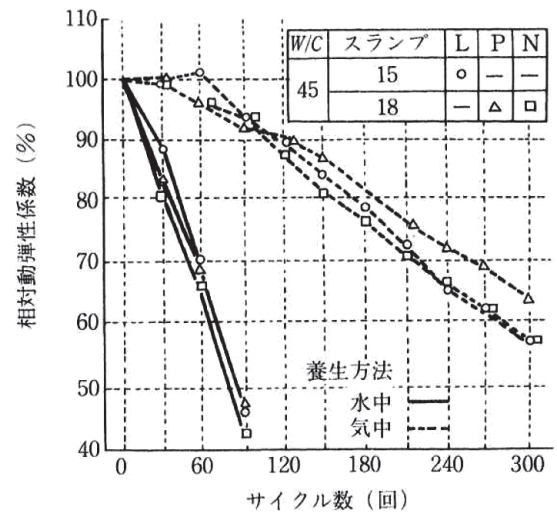


図11 凍結融解の繰返しサイクル数と相対動弾性係数の関係

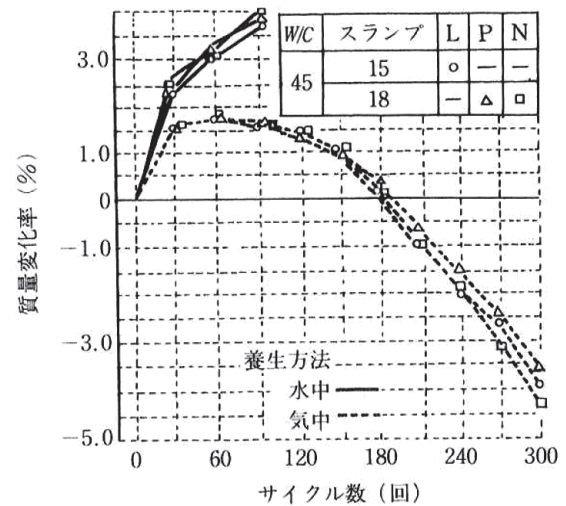


図12 凍結融解の繰返しサイクル数と質量変化率の関係

コンクリートとほぼ同等であることが明らかとなった。

高性能A E減水剤は軽量コンクリートに対しても、単位水量の低減および施工中の流動性の確保に、極めて有効であることが確認された。

## 3. 施工性試験 (振動締固め)

### (1) 試験概要

本試験は、水セメント比30, 45および55%とした軽量コンクリート1種について、振動締固めがフレッシュおよび硬化コンクリートの性状に及ぼす影響を把握するため、フレッシュコンクリートにおいては、図13に示す柱部材を模した型枠にコンクリートを打設し、



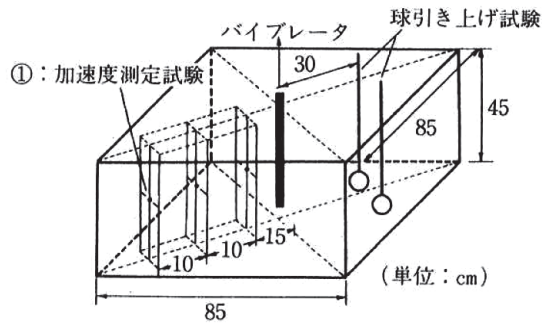


図13 加速度および球引き上げ試験の概要

振動締固めにより伝播される加速度，および鋼球引き上げによって生ずるせん断応力度を測定した。また，硬化コンクリートではコア供試体の単位容積質量，粗骨材面積率および圧縮強度について試験を実施した。

締固めは，図14に示すように棒形パイプレータ（直径4.2cm，振動数12000vpm，振幅0.2cm）を使用し，①中心部のみに加振（中心1点加振），②中心部および周辺部に加振（5点加振）の2水準とした。なお，加振時間は中心部では10秒，周辺部では5秒とした。

試験に用いたコンクリートの調合を表6に示す。

## (2) 試験結果

### ① 加速度

図15に，中心1点加振とした場合の加振部からの距離と加速度の関係を示す。コンクリート中に伝播される加速度は，振動源から離れるにつれて減衰しており，また水セメント比30%とした場合は他の2者とやや異なる性状を示している。

### ② 鋼球引き上げによるせん断応力度

せん断応力度の増加率が大きくなるほど締固めが進行し，充填されていると仮定して行った，鋼球引き上げによるせん断応力度の測定結果を図16に示す。水セメント比が45%および55%のものは，30%のものに比べ加振前に対する加振後のせん断応力の比が大きくなり，水セメント比が大きいものの方が締固めの効果が大であることが示されている。

### ③ コアの単位容積質量

図17に，試験体中心の加振部，試験体中心部から15および35cmの位置から採取したコア供試体の単位容積質量を示す。なおコア供試体は中央部で切断し，上部分について単位容積質量を測定した。コア供試体の単位容積質量は，試験体中心部からの距離によって水

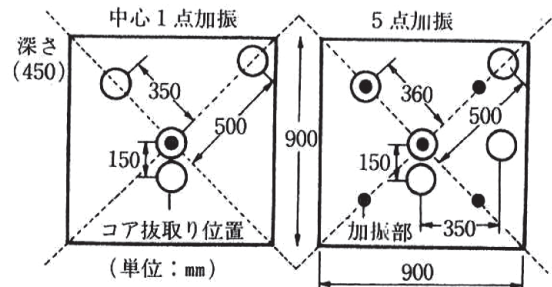


図14 加振位置とコア採取位置

表6 コンクリートの調合

調合種別	W/C (%)	スランブ (cm)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	単位粗骨材かさ容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	混和剤
LC-55-18	55			0.55	高性能AE減水剤・標準形ポリカルボン酸系(P)
LC-45-18	45	18	170	0.58	
LC-30-18	30				

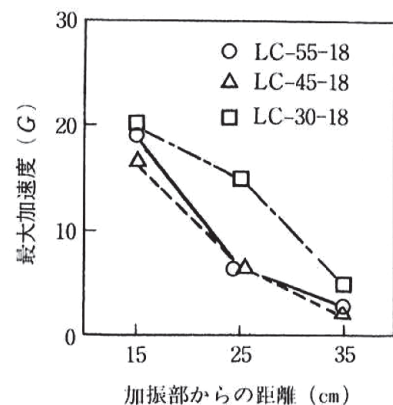


図15 加速度測定結果

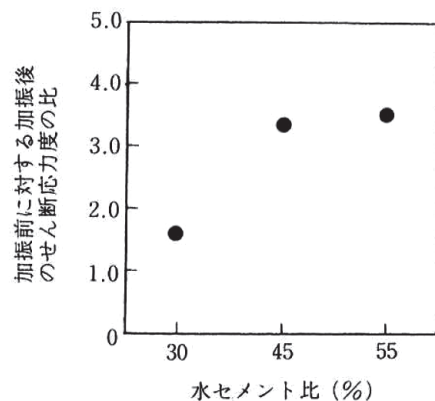


図16 球引き上げ試験結果

セメント比55%および30%のいずれの場合においても、大きな差は認められない。また、5点加振とした場合は中心1点加振とした場合に比べ、水セメント比55%および30%のいずれにおいても単位容積質量はやや大きくなっている。

#### ④ 粗骨材面積率

粗骨材面積は、コア供試体を振動源に対し水平の面で縦にカットした後、三等分し上部、中心部および下部とした供試体によって行った。粗骨材面積の測定は、ビデオ・パターン・アナライザーを用いて5mm以上の粗骨材面積を求め、全面積に対する比率で表示した。測定結果を図18に示すが、中心1点加振とした水セメント比30%の場合および5点加振とした水セメント比55%、30%のいずれの場合においても供試体の上部、中心部および下部における粗骨材面積率に大きな差は認められない。また、粗骨材面積率は水セメント比および加振方法にかかわらず、コア採取位置によって大きな差は認められない。

#### ⑤ 圧縮強度

図19に、水セメント比30%、材令91日におけるコア供試体の標準養生供試体に対する圧縮強度比を示す。コアの供試体上部における圧縮強度は、中心1点加振および5点加振のいずれの場合においてもコアの採取位置にかかわらずほぼ同等の圧縮強度を示している。また、コアの上部と下部の圧縮強度に顕著な差は認められない。

### (3) ま と め

軽量コンクリート1種における振動締固め効果について、加速度および鋼球引上げによるせん断応力度を測定した結果、水セメント比55%および45%はほぼ同等であるが、水セメント比30%ではこれとやや異なる性状を示しており、締固め効果の小さいことが認められた。一方、硬化コンクリートによる振動締固め効果の評価では、中心1点加振とした場合と5点加振とした場合では顕著な差は認められなかった。また、5点加振とし過度に振動締固めを行った場合でも、粗骨材の分離は認められなかった。

## 4. 高性能AE減水剤を用いる軽量 コンクリートの参考調合表

この参考調合表(表7, 表8)は、当面の実用化のための私案として本実験の結果を参考とし、日本建築

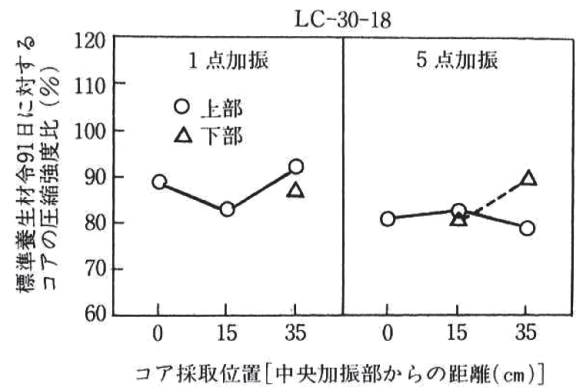


図17 コア供試体の単位容積質量

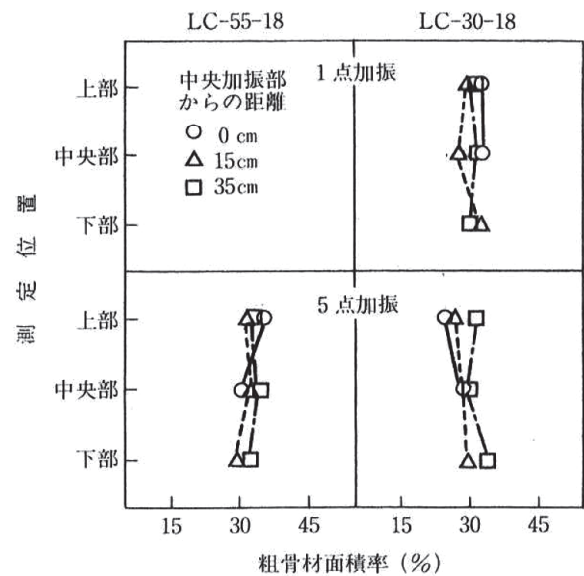


図18 コア供試体の粗骨材面積率

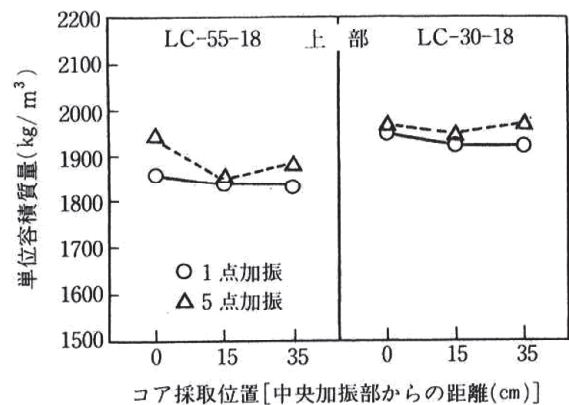


図19 コア供試体の圧縮強度比

学会「軽量コンクリート調査設計・施工指針(案)・同解説」に示された“AE剤を用いた参考調合表”を基に、単位水量については、表中の値を0.92で除して得られる値に0.82を乗じた値とし、単位粗骨材かさ容積は、表中の値に0.03m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>を加えた値として作成したものである。

表7 普通ポルトランドセメント、高性能A E減水剤を用いる軽量コンクリート（1種）の参考調合表

[砂の粗粒率 2.8 (2.5mm)、人工軽量粗骨材の最大寸法 15mm]

水セメント比 (%)	スランブ (cm)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	絶対容積 (l/m <sup>3</sup> )			質量 (kg/m <sup>3</sup> )			単位粗骨材かさ容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
				セメント	細骨材	粗骨材	セメント	細骨材	粗骨材	
40	8	40.4	150	119	279	412	375	725	523	0.65
	12	41.4	156	123	282	399	390	733	507	0.63
	15	42.3	161	128	284	387	403	738	491	0.61
	18	43.2	168	133	285	374	420	741	475	0.59
	21	45.6	178	141	292	349	445	759	443	0.55
45	8	41.8	148	104	296	412	329	770	523	0.65
	12	42.9	153	108	300	399	340	780	507	0.63
	15	44.0	158	111	304	387	351	790	491	0.61
	18	44.8	166	117	303	374	369	788	475	0.59
	21	47.3	175	123	313	349	389	814	443	0.55
50	8	42.8	147	93	308	412	294	801	523	0.65
	12	44.0	151	96	314	399	302	816	507	0.63
	15	45.0	157	99	317	387	314	824	491	0.61
	18	46.0	164	104	318	374	328	827	475	0.59
	21	48.4	174	110	327	349	348	850	443	0.55
55	8	45.3	146	84	331	399	265	861	507	0.63
	12	45.7	150	86	331	393	273	861	499	0.62
	15	47.0	154	89	337	380	280	876	483	0.60
	18	48.6	163	94	342	361	296	889	458	0.57
	21	51.2	172	99	353	336	313	918	427	0.53
60	8	45.9	146	77	338	399	243	879	507	0.63
	12	46.2	150	79	338	393	250	879	499	0.62
	15	47.6	154	81	345	380	257	897	483	0.60
	18	49.2	163	86	350	361	272	910	458	0.57
	21	51.8	172	91	361	336	287	939	427	0.53
65	8	46.3	146	71	344	399	225	894	507	0.63
	12	46.7	150	73	344	393	231	894	499	0.62
	15	48.0	154	75	351	380	237	913	483	0.60
	18	49.7	163	79	357	361	251	928	458	0.57
	21	52.3	172	84	368	336	265	957	427	0.53

セメントの比重 : 3.16

細骨材(砂)の比重(絶乾状態) : 2.60

人工軽量粗骨材の比重(絶乾状態) : 1.27

人工軽量粗骨材の実積率 : 63.4%