

論文 新規特殊増粘剤を用いたペーストおよび軽量高流動モルタルの基礎物性

山室 穂高^{*1}・小柳 幸司^{*2}・横関 康祐^{*3}・松原 功明^{*4}

要旨：セメントペーストのレオロジー特性を自由に制御できる新規の特殊増粘剤を開発した。一般的な増粘剤は分子量数十万以上であるのに対し、本剤は分子量数百の低分子化合物である。ペースト物性について既存増粘剤と比較したところ、本剤はその特異なレオロジー挙動によりペーストに高い材料分離抵抗性を付与でき、しかも硬化物性に優れる。本研究では人工軽量骨材を使用したモルタルに本剤を添加し、種々検討した結果、適切な配合設計を行なうことで高流動性と共に良好な材料分離抵抗性を有したモルタルが製造でき、自己充填性を有する軽量コンクリートの製造技術確立への可能性を示した。

キーワード：軽量コンクリート、人工軽量骨材、増粘剤、材料分離抵抗性、モルタル

1. はじめに

コンクリートの材料分離を抑制するために、セルローズ誘導体や発酵多糖類系の増粘剤、すなわち水溶性高分子をコンクリートに添加する方法が実用化されている¹⁾。しかしながら、水溶性高分子は、①増粘効果を得るために分子量数十万以上が必須であるため、溶解速度が遅く時間をかけて混練しないと十分な粘性が発現しにくい。②予め水溶液として使用すると、水溶液粘度が増大し添加操作や作業性が問題となる。③十分な材料分離抵抗性を得るために多量添加した場合、硬化遅延が懸念されるなど、いくつかの課題を抱えている。これに対し、今回、分子量数百の低分子化合物にもかかわらず、コンクリートに高い粘弾性を付与することができる新規の特殊増粘剤を開発した。本剤は、ペースト中で分子会合を起こし、高分子状の大きな高次構造体を形成する。この高次構造体によってペーストあるいはモルタルに高い材料分離抵抗性を付与することができ、また通常の水溶性高分子がせん断力によって切断されるのに対し、

本剤は分子間力によって構造体を形成しているため、切断されても容易に再結合・再融合し、安定した増粘効果を発揮する。

本研究では、特殊増粘剤の用途の一例として軽量高流動コンクリート^{2),3)}への適用を試みた。軽量コンクリートは骨材の浮き上がりによる材料分離を生じる。しかしながら、既存の増粘剤では十分に材料分離を抑制することは難しく、今後の更なる軽量コンクリートの高機能化（超軽量化、高強度化等）やポンプ圧送性の改善を実現するレベルには至っていない。

本研究では、新規特殊増粘剤を使用したペーストの各種基礎物性および既存増粘剤との比較実験を通じ、得られた知見を基に軽量高流動コンクリートに使用するためのモルタルの基礎物性について検討を行なったものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合条件

使用材料を表-1、代表的なモルタルの配合条件を表-2に示した。また、増粘剤を添加し

*1 花王（株）化学品研究所 主任研究員 グループリーダー 工修（正会員）

*2 花王（株）化学品研究所 研究員

*3 鹿島技術研究所 土木技術研究部 材料・LCEグループ 主任研究員（正会員）

*4 鹿島技術研究所 土木技術研究部 材料・LCEグループ 研究員 工修（正会員）

表－１ 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度：3.16g/cm ³ ，比表面積：3270cm ² /g
細骨材	人工軽量細骨材	S	1号；絶乾密度：0.71g/cm ³ ，表乾密度：0.77g/cm ³ ，24h吸水率：9.10%(1.2mm以下)
			2号；絶乾密度：0.64g/cm ³ ，表乾密度：0.69g/cm ³ ，24h吸水率：8.50%(1.2～2.5mm)
			1，2号を容積比9:1でブレンド
混和剤	増粘剤	VIS	特殊増粘剤（A成分，B成分）
		MC	メチルセルロース
	高性能AE減水剤（SP）	PC	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤
		NF	ナフタレン系高性能減AE水剤

た各種のペースト試験は、増粘剤の性能を引き出すため W/C=70%で評価を行なった。本特殊増粘剤は、A成分とB成分からなり、両成分を混合することで粘性を発現する特徴を有する。

2.2 実験方法

（１）ペースト試験

① ペースト調製法；セメントペーストは、水とセメント粉体に特殊増粘剤A成分を添加し、ハンドミキサーで30秒間練り混ぜた後、特殊増粘剤B成分を添加し、更に60秒間攪拌して調製した。尚、空気量は消泡剤を添加し、2%以下に調整した。

② 水和速度；調製したペースト20gをカロリーメーター（TOKYO RIKO Co製）にセットし、第二水和発熱ピーク時間を測定した。

③ ブリーディング率；調製したペースト200mlを500mlビーカーに入れ、30分間静置した後、表面に出てきたブリーディング水をスポイトで吸い上げ計量し、ブリーディング率を算出した。

④ レオロジー測定

（静的粘度測定）：調製したペーストを300mlビーカーに300ml投入し、回転粘度計（RION CO., LTD）を使用し、回転速度62.5rpm、備付けのローター1号（φ24×53×166）で粘度測定を行なった。

（動的レオロジー測定）水溶液粘度10000mPa・s一定となるように所定濃度の各種増粘剤水溶液を調製し、ARES粘弾性測定装置（レオメトリック・サイエンティフィック製）で、コーンブ

レート（直径：50mm，角度：0.0398rad，GAP：0.0508mm）を用い、ひずみ1.0%，測定範囲0.0628～62.8rad/s，20℃の条件で弾性的性質を表わす貯蔵弾性率G'を測定した。また、所定量の増粘剤を添加し、ペースト粘度800mPa・sのペースト（配合：水100g，炭酸カルシウム100g）を調製し、上記と同様の測定条件で貯蔵弾性率G'を測定した。

（２）モルタル試験

ホバートミキサにて練混ぜ量4Lとし、セメント、水（高性能減水剤および特殊増粘剤A成分を含む）を投入し、低速回転で30秒攪拌後、特殊増粘剤B成分を投入し、中速回転で30秒間練り混ぜた後、骨材（表乾状態）を投入し更に1分間練り混ぜた。尚、空気量は消泡剤を添加し、15±5%に調整した。流動性の評価は、コーン（φ100×50mm）にモルタルを詰め、コーンを引き上げた後のモルタルの広がり（静置フロー値）を測定した。空気量および単位容積質量はJIS A 1116質量法に準じて行なった。圧縮強度は、標準養生材齢7,28日で測定した（JSCE G505）。また、Vロート流下試験（吐出口寸法：30×30mm）も行った。

表－２ モルタル配合

W/C (%)	s/m* (%)	練混ぜ量 (g/batch)		
		W	C	S
30	50.0	219	730	317
40	52.5	239	598	332
50	55.0	248	497	348

*：モルタルとモルタル中の細骨材容積比

3. 実験結果および考察

3.1 ペースト試験

単位容積質量が 1 t/m^3 付近であり、可能な限り高強度、且つ作業性に優れた汎用的な軽量高流動コンクリートの開発を目指し、まず、各種ペースト試験により本剤の適用性について検討した。

(1) 特殊増粘剤の増粘挙動

本剤の増粘挙動を図-1に示した。本剤は、マイナス荷電を有するA成分とプラス荷電を有するB成分を混合することで粘性を発現する。A, B各成分は、それ自体にはペーストに粘性付与機能は無く、無添加のペーストと同粘度である（約 $250 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ）。一般にコンクリートに使用される増粘剤は水溶性高分子と呼ばれ、分子の絡み合いと吸着作用により大きな増粘効果が得られ、分子的には数十万以上である⁴⁾。一方、本特殊増粘剤は、コンクリートに使用される起泡剤程度の数百といった分子量であるため各成分については全く増粘作用が無い。しかしながら、A, B両成分をペーストに添加すると添加量の増加に伴い粘度が増大した。これはA成分とB成分が電気的に結合し、添加量によっては分子量数百万以上の非常に大きな高次構造体を形成した結果である。そのため、粘度などのペーストのレオロジー物性を任意に変化させることができる。

(2) 既存増粘剤との比較

次に、コンクリートによく使用されているセルロース系増粘剤であるメチルセルロース（MC）との比較検討を行なった。まず、両者の同一粘度水溶液を調製（ $10000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ）し、動的レオロジー測定により貯蔵弾性率 G' を測定した（図-2）。その結果、MCがせん断速度（角速度）と共に G' が変化して行くのに対し、本剤は低せん断から高せん断にかけて G' が非常に大きく、しかも幅広い領域において平坦である事が明らかとなった。このレオロジー特性については、特に、低せん断下での G' が大きいことから静的な材料分離抵抗性が非常に高いこと

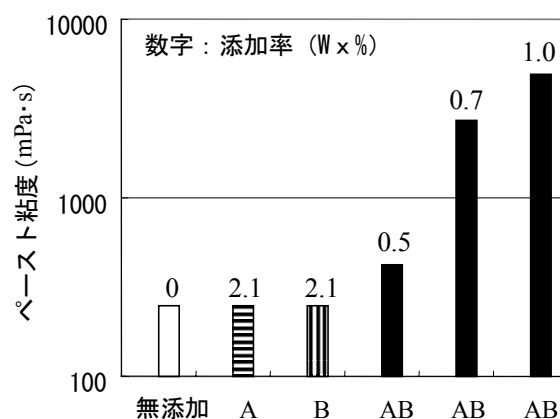


図-1 特殊増粘剤の増粘挙動

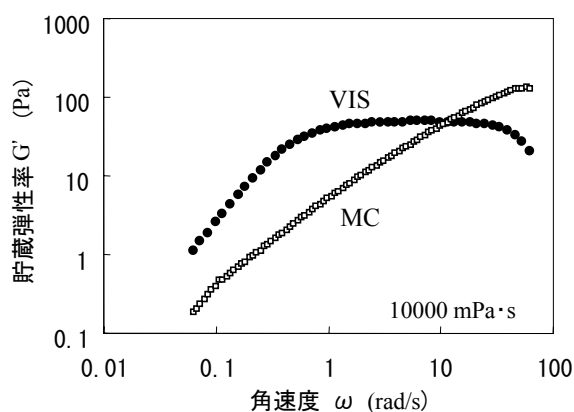


図-2 貯蔵弾性率 G' の比較（水溶液）

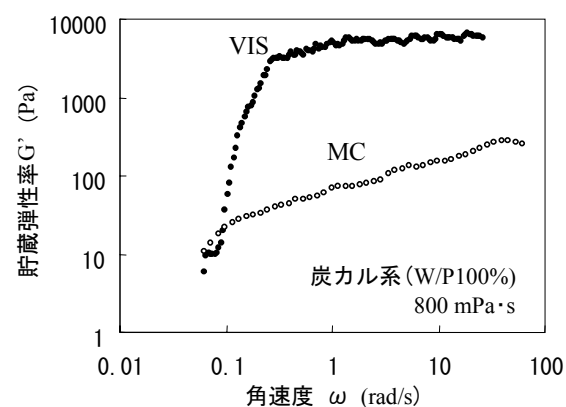


図-3 貯蔵弾性率 G' の比較（ペースト）

が示唆される。また、高せん断域を超えると G' は減少し、弾性的な性質が失われて行く傾向が認められた。同様に、両者の炭酸カルシウムペースト（水粉体比 1.0）を調製し、実際のペーストに近い条件下で測定を行なった。その結果、

ほぼ水溶液系での結果を反映し、本剤は従来の増粘剤と比較して G' が非常に大きい特徴を有することが明らかとなった(図-3)。

次に、ブリーディング率について測定を行なった(図-4)。通常、 $W/C=70\%$ ペーストは、セメント粒子の沈降が著しく、ブリーディング水が多量に生じる。両増粘剤共に、添加量を増加することでペースト粘性が大きくなり、徐々にブリーディング率が低下する。本剤の場合、ペースト粘度 $1000\text{mPa}\cdot\text{s}$ 付近でブリーディング率は 5% 以下まで低下し、 $5000\text{mPa}\cdot\text{s}$ ではほとんどブリーディングの発生が認められなかった。このことからペースト粘度 $1000\text{mPa}\cdot\text{s}$ 付近で、高次構造体が形成されたことで、ペースト中の粒子沈降が抑制されると共に余剰水が捕捉され、ブリーディング率が低下したと考えられた。

また、セメントの水和反応に与える影響について検討した(図-5)。増粘剤無添加のペーストに対し、MCペースト($5000\text{mPa}\cdot\text{s}$)は、水和発熱ピーク時間が25時間となり、著しくセメントの水和反応を抑制する。一方、本特殊増粘剤は、ペーストにMCと同程度の粘性を付与しても無添加に対して約1時間の遅れに留まり、さらに、それ以上の粘性($15000\text{mPa}\cdot\text{s}$)をペーストに付与しても2時間以内の遅延にとどまった。この結果から、本剤はペースト中で大きな高次構造体を形成しながらも、セメント粒子表面には殆ど存在せず、また水和に必要な水分子は高次構造体が形成されたペースト中でも自由に動くことができると推察される。

(3) 高性能減水剤との併用の影響

本剤と高性能減水剤(SP)との併用について検討した結果を示した(図-6)。一般的に使用されているナフタレン系(NF)およびポリカルボン酸系(PC)について本剤との併用時のペースト粘性を測定した所、PCについては併用による影響は認められなかったが、NFについては、NF添加量を増加するに従い、顕著に減粘することが分かった。NFは、構造中に芳香環を有しているため、 π 電子効果により本

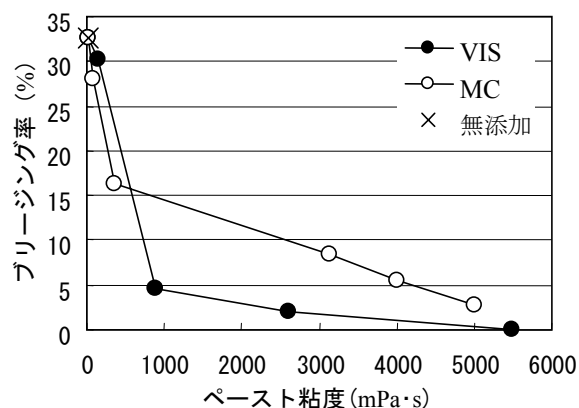


図-4 ペースト粘度とブリーディング率

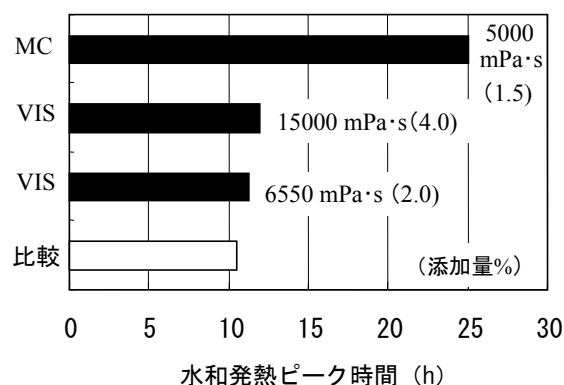


図-5 増粘剤が水和反応に及ぼす影響

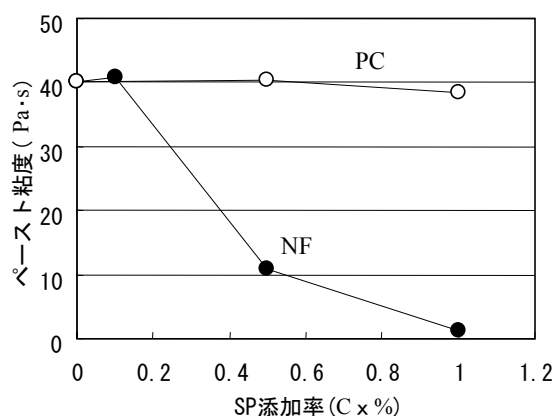


図-6 高性能減水剤との併用の影響

剤の構造体形成に何らかの影響を及ぼした可能性がある。従って、モルタル試験にはPCを使用することにした。

以上の結果から、本特殊増粘剤は、特異な増粘機構を有し、セメントペーストの物性に与え

る影響もこれまでの知見と大きく異なる。特に、特異なレオロジー特性については、高い弾性的な性質をペーストに付与する事ができるため、本剤を軽量高流動コンクリートに使用することで顕著な材料分離抵抗性向上が期待される。

3.2 モルタル試験

次に、軽量高流動コンクリートの目標性能を満足するためのモルタルについて、人工軽量骨材を使用し、基礎検討を行なった。

(1) 特殊増粘剤の増粘効果

まず、 $W/C=30\%$ 、 s/m （モルタルとモルタル中の細骨材容積比） $=50\%$ の配合を使用し、本特殊増粘剤とSPの添加率がモルタルのフレッシュ性状に及ぼす影響について検討した結果を図-7に示した（本実験では、モルタルフローの目標値 $250 \pm 10\text{mm}$ とした）。本剤の添加量を5水準とし、SP添加率を変化させてモルタルフロー値の変動について測定を行なった結果、基本的にはどの増粘剤添加率においてもSP添加率の増加に伴いフロー値は増大する傾向であった。しかしながら、増粘剤添加率1.0%を超え、1.25%以上になるとSP添加率に対するフロー値の変動が緩慢になり、増粘剤の効果が確認できた。さらに増粘剤添加量2.0%では増粘効果が分散性を阻害し流動性は頭打ちとなった。結果として、1.5%迄であれば、SP添加率を調製することで目標フロー値が得られると同時に、フレッシュ性状については材料分離も認められずに良好であった。図-8にVロート流下時間を示した（モルタルは図-7と同一）。Vロート流下時間の目標値については、一般的な高流動コンクリートでは 10 ± 2 秒が最適とされているが、Vロート流下時間は、材料の重量に大きく左右されるため軽量コンクリートとした今回の実験では図-8からは目標値を設定するには至らなかった。しかしながら、施工の容易さを考慮すると、材料分離を生じない範囲でより小さい値が好ましいと考えられる。

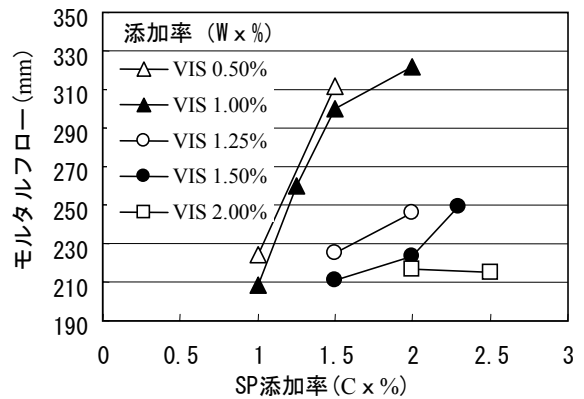


図-7 SP添加率とモルタルフロー

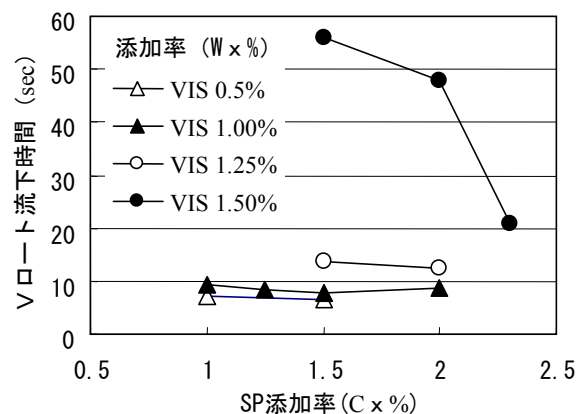


図-8 SP添加率とVロート値

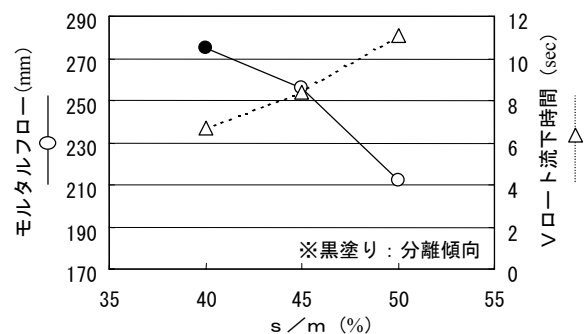
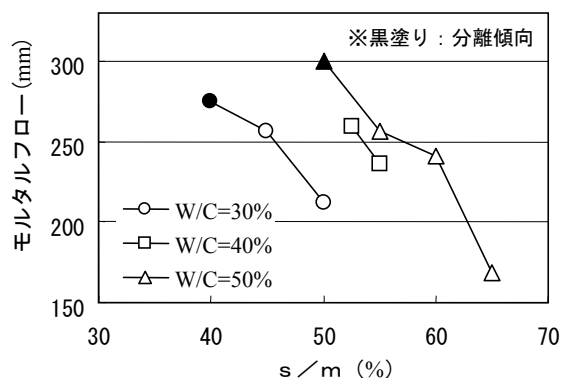


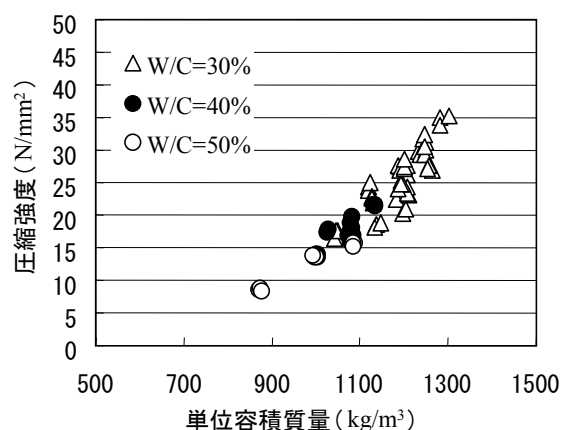
図-9 s/m とモルタルフローおよびVロート流下時間 ($W/C=30\%$)

(2) モルタル配合の基礎検討

次に、 $W/C=30\%$ の配合での s/m に対する流動性とVロート流下時間の変動について検討を行なった（図-9）。尚、PC添加率2.5%、増粘剤添加率1.25%で一定とした。その結果、本



図－１０ s/mとモルタルフローの関係
(W/C=30, 40, 50%)



図－１１ 単位容積質量と圧縮強度
(材齢 28 日)

条件では $s/m=45\%$ 付近が良好であり、40%では若干材料分離気味であった。引き続き、 $W/C=40, 50\%$ についても s/m の影響を検討した (図－１０)。その結果、 $W/C=30\%$ と同様に各 W/C で最適な s/m が存在することが分かった。増粘剤、 P/C 一定の場合、 W/C が大きくなると s/m を大きくすることで所定のフロー値が得られる。特に、 $W/C=50\%$ において分離傾向となり、対策として s/m を増大させればよいが、 $s/m=65\%$ とすると著しく流動性が低下した。 $W/C=50\%$ においては s/m の最大値を 60% とするのが適切であると考えられる。図－１１に圧縮強度試験結果を示した (材齢 28 日)。図より、本検討で製造したモルタルは、単位容

積質量 0.9 t/m^3 で 10 N/mm^2 , 1.3 t/m^3 で 35 N/mm^2 と軽量高流動コンクリート製造へ向けて十分な強度を確保できることが分かった。

4. まとめ

新規特殊増粘剤の軽量高流動コンクリートへの適用の可能性と各種要求性能を満足するモルタルの基礎物性について以下の知見が得られた。

- (1) 特殊増粘剤は、ペーストに高い粘弾性を付与することができ、人工軽量骨材を使用したモルタルの材料分離抵抗性向上に有効である。
- (2) 特殊増粘剤は、セルロース系と比較して遅延性が小さく、 SP との併用はポリカルボン酸系が適している。
- (3) $W/C=30\sim 50\%$ の領域において、最適な増粘剤量、 SP 添加率、 s/m を設定することで良好なフレッシュ性状の軽量モルタルが得られる。
- (4) 単位容積質量 $900\sim 1300 \text{ kg/m}^3$ において圧縮強度 $10\sim 35 \text{ N/mm}^2$ の軽量モルタルが製造できた。

参考文献

- 1) 土木学会コンクリート委員会：水中不分離性コンクリート設計施行指針(案)，土木学会，pp86-91，1991.5
- 2) 柳井修司，坂田昇，渡辺賢三：高性能軽量コンクリートの自己充填性付与に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.2，pp.337-342，1999
- 3) 河井徹，大野浩，小沢一雅：締固め不要・高強度軽量コンクリートの開発と適用，セメント・コンクリート，No.552，1993.2
- 4) 泉達男，田所敬章，村原伸，水沼達也：増粘剤の吸着特性がモルタル物性に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17，No.1，pp.63-68，1995