

# 論文 フライアッシュコンクリートの空気連行性およびブリーディングに影響を及ぼす各種要因

山本隆信<sup>\*1</sup>・杉山隆文<sup>\*2</sup>・辻幸和<sup>\*3</sup>

**要旨:** 本研究の目的は、フライアッシュ用の空気量調整剤をAE減水剤と併用した場合の、フライアッシュコンクリートにおける空気連行性およびブリーディング量を検討することである。実験では、空気量調整剤の種類および添加率を変化させて、各フレッシュ時の性状を考察した。また、品質の異なる2種類のフライアッシュを用いて、最大45%までセメントの一部と置換した場合について考察した。各配合におけるAE減水剤の添加率を一定とした本実験の範囲内では、目標値である5%の空気量を得るために必要な空気量調整剤の添加率は、フライアッシュの品質に関わらず、30%までの置換率の増加に対して比例的に増加した。

**キーワード:** フライアッシュ、空気量調整剤、空気量、ブリーディング量

## 1.はじめに

フライアッシュを混和したコンクリートは、未燃炭素のAE剤の吸着により、所要の空気量が確保できない場合が報告されている。このような問題の対策として、AE減水剤と併せて使用するフライアッシュ用の空気量調整剤の開発が行われている。しかし、これらの混和剤の効果は、フライアッシュの品質との相性や骨材の種類、単位セメント量などの配合条件により、異なる傾向を示す場合があると考えられる。また、逆に、空気量調整剤の種類が異なる場合の添加率の相違などについても、基礎的なデータを収集する必要がある。

表-1 フライアッシュの品質

種類	原産地	比重	ブレーン比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	未燃物 (%)	MB吸着率 (mg/g)
①	松島	2.26	4370	2.0	0.45
②	松浦	2.22	4050	1.7	0.51

表-2 使用したAE減水剤と空気量調整剤

混和剤 のType	AE減水剤 の主成分	空気量調整剤の 主成分	空気量調整 剤の比重
$\alpha$	トリカリボン 酸塩導体	高級脂肪酸と トリカルシウムアルミニエーテル	1.00~1.02
$\beta$	リグニンカルボン酸 化合物 カルボン酸複合体	高アルカリカルボン酸系陰イオン界面活性剤と 非イオン界面活性剤	1.04

本研究は、特定の原産地から採取された品質の異なる2種類のフライアッシュ（松島・松浦産）に対して、5%の空気量を得るために必要なフライアッシュ用の空気量調整剤の添加率を実験的に調べた。実験では、空気量およびブリーディング量の経時変化も調べた。また、主成分が異なる2種類の空気量調整剤を用いて実験を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 材料

本研究で使用したセメントは、普通ポルトランドセメントである。また、粗骨材は大間々小平碎石（骨材の最大寸法は20mm、粗粒率6.80および6.55、表乾比重2.86および2.90、吸水率0.73および0.67）、細骨材は笠懸町陸砂（粗粒率2.77、表乾比重2.63、吸水率2.35）を使用した。

使用した各フライアッシュは、JIS規格に準ずるものである。その品質を表-1に示す。

本研究では、2種類の混和剤を用いた。各混和剤は、AE減水剤およびフライアッシュ用に開発された空気量調整剤の併用である。使用したAE減水剤と空気量調整剤の主成分を表-2に示す。

\*1 群馬大学大学院 工学研究科建設工学専攻（正会員）

\*2 群馬大学助教授 工学部建設工学科 Ph.D.（正会員）

\*3 群馬大学教授 工学部建設工学科 工博（正会員）

表-3 各コンクリートにおけるフライアッシュおよび混和剤の詳細

配合名	フライアッシュの種類	F/(C+F) (%)	混和剤のType	フライアッシュの単位量(kg/m <sup>3</sup> )	空気量調整剤添加率((C+F)×%)×10 <sup>-1</sup>
普通	—	0	α	0	0
F①15α	①	15	α	49	0~6.0
F①30α		30		97	0~12.0
F①45α		45		146	6~12.0
F①15β		15	β	49	2.0~4.0
F①30β		30	β	97	2.5~3.5
F②15α		15	α	49	1.5
F②30α		30	α	97	4.5~12.0

$$W/(C+F)=0.55, s/a=45.4\%, W=178 \text{ kg/m}^3$$

AE 減水剤添加率=0.4%，目標スランプ：18±1cm

## 2. 2 配合

表-3に各コンクリートにおけるフライアッシュおよび混和剤の詳細を示す。本研究では、フライアッシュの種別および置換率、空気量調整剤の種別および添加率の観点から、フレッシュ時の空気連行性およびブリーディング量を検討することを目的に各配合を選定した。水と結合材(セメントおよびフライアッシュ)の比は、0.55と一定とした。また、単位水量およびs/aもそれぞれ、178kg/m<sup>3</sup>および45.4%と一定とした。これらの諸量は、混和剤としてAE 減水剤だけを使用した普通コンクリートにおいて、目標スランプが18±1cm、目標空気量が5±1%となるように、予め数回の試し練りから決定したものである。

表-1におけるフライアッシュの種類①、および表-2におけるType αの混和剤(以後、單にType αと記す)を使用した、置換率15%の供試体をF①15αと記す。以後、同様に各供試体を表現する。なお、F①15βおよびF①30βは、[粗粒率6.55、表乾比重2.90、吸水率0.67]の粗骨材を使用した。

## 2. 3 混和剤の添加率

AE 減水剤および空気量調整剤の添加率は、全てセメントとフライアッシュの質量の和に対する割合((C+F)×%)で表す。なお、Type αにおける空気量調整剤は原液で、表-2におけるType βの混和剤(以後、單にType βと記す)の空気量調整剤は、2%に希釈して使用した。ただし、希釈水量は、練混ぜ水の一部とした。また、空気量調整

剤は、予めAE 減水剤を加えた練混ぜ水と混ぜると分離を起こし均等に混ざらない恐れがあるので、コンクリートを練り混ぜている最中に投入した。

AE 減水剤の添加率は、目標スランプ18±1cm、目標空気量5±1%を得るために、製造元の技術資料を参考に、予め数回の試し練りから、結合材(セメントおよびフライアッシュ)量に対して0.4%とした。この添加率は、AE 減水剤の種類に関わらず同じであった。なお、フライアッシュの置換率の増加に伴い、AE 減水剤の添加率を小さくできるが、空気量調整剤の添加率がコンクリートの空気量およびブリーディングに及ぼす影響を明確にするために、AE 減水剤の添加率はあえて一定とした。そして、各配合において、空気量調整剤の添加率を表-3に示すように変化させた。また、空気量調整剤の添加の効果を比較するために、空気量調整剤を併用しないフライアッシュコンクリートも作製した。

## 2. 4 練混ぜ

最大練混ぜ量が100%の強制練りコンクリートミキサ内に、セメント、細骨材、粗骨材の順に投入して、90秒間練り混ぜた。一旦停止させた後、AE 減水剤を予め加えた練混ぜ水を投入して、ミキサを再度作動させた。ミキサを再度作動させた直後から約30秒間かけて、空気量調整剤を投入して、さらに継続して120秒間練り混ぜた。その後、ミキサからコンクリートを排出して、各種試験を行った。1回の練混ぜ量は50%である。

## 2. 5 測定項目

コンクリートのフレッシュ時の性能として、空気量の経時変化およびブリーディング量の経時変化を測定した。空気量の試験は、JIS A 1128に基づいて、またブリーディング試験はJIS A 1123に基づいて行った。

各配合において、空気量が目標の5±1%を達成した供試体においては、初期硬化時の性状として、水中養生における材齢7日、28日(Φ10cm×20cm)の圧縮強度を測定した。また、一部供試体では、材齢91日の圧縮強度も測定した。

表-4 フレッシュコンクリートの諸性状

配合名	空気量調整剤添加率 ((C+F) × %) × 10 <sup>-2</sup>	スランプ (cm)	空気量 (%)	最終ブリーディング 量(cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )
普通	0	18.0	5.2	0.21
F①15α	0	18.0	2.9	0.32
	1.5	19.0	4.9	0.34
	3.0	19.0	6.5	0.26
	6.0	18.0	8.0	0.20
	0	19.0	2.8	0.34
F①30α	3.0	17.0	3.8	0.23
	4.5	18.0	4.3	0.29
	6.0	18.0	6.0	0.18
	12.0	17.5	8.3	0.14
	6.0	19.0	3.7	0.46
F①45α	10.5	19.0	5.5	0.24
	12.0	19.5	6.0	0.26
	2.0	18.0	4.2	0.17
	2.25	17.0	5.1	0.14
	2.5	19.0	10.0	0.26
F①15β	3.0	19.0	10.0	0.27
	4.0	17.0	10.0	0.13
	2.0	19.5	5.5	0.25
	2.5	19.0	3.8	0.36
	3.0	18.5	4.4	0.30
F①30β	3.5	19.0	5.4	0.31
	1.5	18.0	4.7	0.33
	4.5	19.0	4.9	0.26
F②15α	6.0	18.5	6.0	0.29
	12.0	19.0	8.4	0.26

### 3. 試験結果

#### 3. 1 フレッシュコンクリートの諸性状

表-4は、各配合における、空気量調整剤の添加率を変化させたときのスランプ、空気量および最終ブリーディング量をまとめたものである。

スランプは、単位水量およびAE減水剤の添加率が一定にも関わらず、フライアッシュの置換率に影響なく、ほぼ $18 \pm 1\text{cm}$ で収まった。これは、単位水量が $178\text{kg/m}^3$ と大きく、AE減水剤の添加率も比較的大きい本実験の各配合におけるコンクリートの場合、スランプの最大値と思われる。しかし、空気量および最終ブリーディング量は、空気量調整剤の添加率に応じて異なっている。

#### 3. 2 空気量

##### (1) 空気量調整剤の添加率と空気量の関係

図-3に空気量調整剤の添加率と空気量の関係を示す。なお、図における点線は、空気量調整剤が添加されていない、普通コンクリートの空気量の値(5.2%)である。

Type αを使用した供試体において、フライア

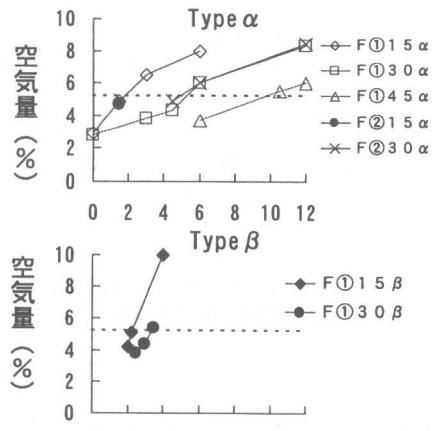


図-3 空気量調整剤の添加率と空気量の関係  
空気量調整剤添加率 $\{(C+F) \times \% \} \times 10^{-2}$

ッシュの置換率に関わらず、空気量調整剤の添加率が増加するとほぼ比例して空気量も増加しており、空気量調整剤の添加率が0.02%増加すると、空気量は約1%増加している。なお、フライアッシュの置換率が同じ場合、フライアッシュの品質の違いによる空気量調整剤の添加率と空気量との関係に、明確な違いは認められない。

Type βを使用したコンクリートについても、添加率が増加すると空気量は比例的に増加している。しかし、F①15βでは、添加率を0.0225から0.04%へ増加させるだけで、空気量は約5%から10%へと著しく増加した。各配合におけるAE減水剤の添加率は一定なので、空気量の増加率の違いは、空気量調整剤の種類に起因する、つまり、非イオン系のType βと、高級脂肪酸系のType αの吸着特性の違いに起因すると考えられる<sup>1), 2)</sup>。

図-4は、空気量が目標の5%前後で得られた時の空気量調整剤の添加率を、フライアッシュの置換率別にプロットしたものである。

置換率が30%までは、混和剤の種類に関係なく、各空気量調整剤の添加率はほぼ直線的に増加して、置換率30%の場合で約0.04%の添加率が必要となることが判明した。しかし、Type αでは、置換率が45%に増加すると、添加率が0.105%と極端に高くなったり。また、30%までの置換率では、5%の空気量を得るために必要な空気量調整剤の添加率は、

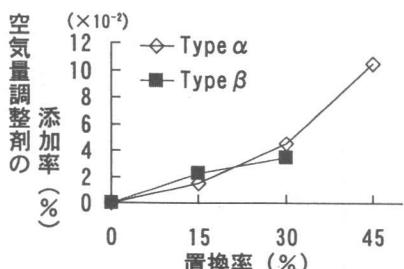


図-4 5%の空気量を得るために必要な空気量調整剤の添加率

両 Type ともほぼ同じである。ただし、本実験では併用する各 AE 減水剤の添加率も 4.0%と統一したので、その事も理由の一つと考えられる。

## (2) 空気量の経時変化

図-5 に空気量の経時変化を示す。空気量調整剤を使用していないフライアッシュコンクリートは、初期の空気量が約 3%と小さく、測定開始から、F①15α では約 30 分で、F①30α では約 20 分で空気量は 2%以下となった。しかし、いずれの置換率の場合でも、Type α を使用したコンクリートでは、空気量の経時的な減少はほとんど認められない。一般に、高級脂肪酸系は、空気量調整剤の吸着速度が極めて急激で、短時間に吸着が終了すると思われる<sup>3)</sup>。そのために、その後は AE 減水剤の影響も加わり、比較的安定した空気量が、長期まで継続されたものだと考えられる。一方、Type β を使用したコンクリートでは、フライアッシュの置換率に関係なく、空気量調整剤を添加する事により、空気量は経時に若干減少する傾向を示した。一般に、非イオン界面活性剤系は、フライアッシュの吸着作用に対して界面活性剤の能力低下が小さいと思われる<sup>1)</sup>。そのために、AE 減水剤の AE 成分は吸着されるが、空気量調整剤の添加により空気を連行したものだと考えられる。

## (3) フライアッシュの置換率と空気量の関係

図-6 は、Type α を用いた場合に、フライアッシュの置換率が空気量に及ぼす影響を明確にするために、図-3 を再整理したものである。

空気量調整剤の添加率を一定にした場合、置換率が増加すると空気量が減少している。これは、フライアッシュの単位量を増加させると、未燃炭

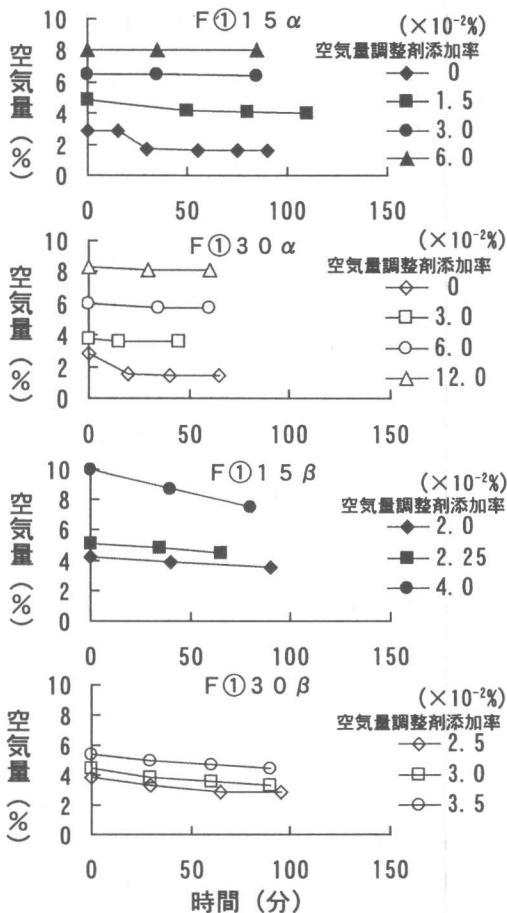


図-5 空気量の経時変化

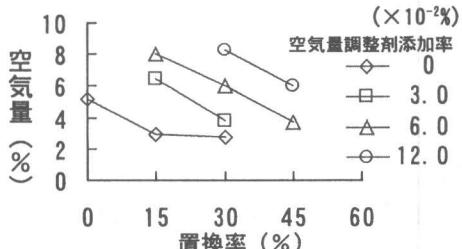


図-6 置換率と空気量の関係 (Type α)

素の絶対量が増えるためだと考えられる。

## 3. 3 プリーディング量

### (1) プリーディング量の経時変化

図-7 にプリーディング量の経時変化を示す。Type α を用いたフライアッシュコンクリートでは、置換率に関わらず、空気量調整剤の添加率が減少すると、経時のプリーディング量の増加は大きくなかった。F①15α では、添加率が 0 および 0.015% の時のプリーディング量の経時的な増加は、比較

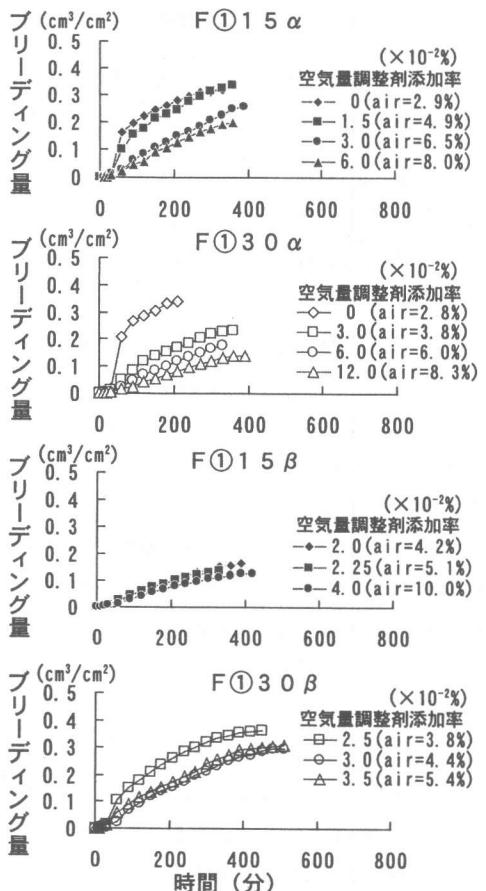


図-7 プリーディング量の経時変化(air:空気量)

的短時間(約80分以内)で著しく大きくなつた。

Type βを用いたフライアッシュコンクリートの場合は、F①30βではF①15αと同様な傾向を示すものの、F①15βでは、空気量調整剤の添加率に関わらず、プリーディング量の経時的な増加の傾向に違いは認められない。

なお、空気量が目標値に近い場合でも、プリーディング量の経時変化は置換率や混和剤の種類により異なつた。しかし、最終プリーディング量とその終了時間の間には、明確な関係は認められなかつた。

## (2) 空気量調整剤の添加率と最終プリーディング量の関係

図-8に空気量調整剤の添加率と最終プリーディング量の関係を示す。なお、図における点線は、空気量調整剤を添加していない普通コンクリ

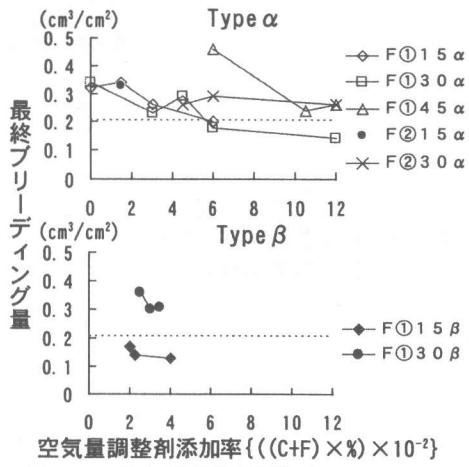


図-8 空気量調整剤添加率と最終プリーディング量の関係

ートにおける最終プリーディング量の値である。

Type αにおいては、空気量調製剤の添加率を小さくして空気量が減少すると、最終プリーディング量は大きくなる傾向を示した。そして、普通コンクリートの最終プリーディング量よりも大きい結果となつた。しかし、空気量調整剤の添加率を多くして、空気量が増加すると、前節でも述べたように、初期時間におけるプリーディング量の急激な増加が抑制されるため、普通コンクリートと比較して最終プリーディング量は同等となつた。また、Type βもType αと同様な傾向は認められるが、F①30βでは、いずれの添加率およびそれに起因するいずれの空気量でも、図における点線より最終プリーディング量は多くなつた。

既に述べたように、空気量調整剤の添加率を増加させると、空気量が6%以上と増加するので、この機構には比重差による粒子の沈降に加えて混和剤の添加による練混ぜ水の表面張力と空気泡の発生および凝結時間などが複雑に関連していると考えられる。

## (3) フライアッシュの置換率と最終プリーディング量の関係

図-9にF①のType αにおいて、空気量調整剤の添加率を一定としたとき、フライアッシュの置換率と最終プリーディング量の関係を示す。

本実験では、単位水量およびAE減水剤の添加

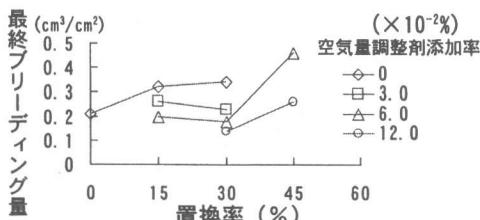


図-9 置換率と最終ブリーディング量の関係 (Type  $\alpha$ )

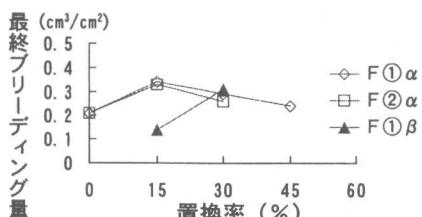


図-10 空気量 5 %における置換率とブリーディング量の関係

率を一定としたために、空気量調製剤を添加していない場合と、添加していてもフライアッシュの置換率が 30%以上において、置換率の増加に従つて最終ブリーディング量は増加する結果となった。しかし、空気量調整剤を添加して置換率が、15から 30%へ増加しても最終ブリーディング量はほとんど変化しなかった。

図-10 は、空気量が目標の 5%前後である場合のコンクリートの最終ブリーディング量とフライアッシュの置換率の関係である。Type  $\alpha$  を用いた場合、フライアッシュの品質に関わらず、置換率が 15%の場合で最終ブリーディング量が最も多くなった。また、既に説明したように、置換率が増加すると目標の空気量を得るために空気量調整剤の添加率は増加するが、その分最終ブリーディング量は減少した。一方、Type  $\beta$  を用いた場合、置換率が 15 から 30%へ増加すると、最終ブリーディング量は、逆に増加した。

これらの結果は、空気量およびブリーディングの終了時間がほぼ一定なので、空気量調製剤の種類の違いによる影響と思われる。今後は、凝結時間との関連を検討する必要がある。

### 3. 4 初期圧縮強度

表-5 は、材齢が 7 日および 28 日と比較的初期の圧縮強度である。ただし、普通コンクリート

表-5 初期圧縮強度

	圧縮強度 (N/mm²)		
	7 日	28 日	91 日
普通	33.1	39.3	44.6
F①15 $\alpha$	28.7	38.2	44.9
F①30 $\alpha$	22.3	32.4	—
F①45 $\alpha$	13.9	22.3	—
F①30 $\beta$	21.0	28.6	—
F②15 $\alpha$	30.5	37.5	—
F②30 $\alpha$	21.6	30.8	—

および F①15 $\alpha$  の配合では、91 日の圧縮強度も示した。材齢が 28 日までの初期の圧縮強度では、フライアッシュの置換率の影響が最も大きく、置換率が減少すると圧縮強度は増加している。使用した混和剤の種類およびフライアッシュの品質による差異はほとんど認められない。また、材齢が 91 日に達すると、置換率が 15%で普通コンクリートの圧縮強度と同程度にまで増加している。

### 4.まとめ

- (1) 本実験の配合の範囲内で、目標の空気量を得るために必要な空気量調整剤の添加率は、フライアッシュの置換率が増加すると増加した。その際、置換率 30%までは、混和剤の種類およびフライアッシュの品質による明確な差異は認められなかった。しかし、Type  $\beta$  を用いた場合、添加率のわずかな増加が、空気量を 10%に増加させた。
- (2) 空気量調整剤を添加したコンクリートでは、100 分程度までの空気量の経時的な減少は、小さくなる傾向を示した。
- (3) 目標の空気量を達成させたフライアッシュコンクリートでは、普通コンクリートと比べて、F①15 $\beta$  をのぞいて最終ブリーディング量は大きくなる傾向を示した。

### 参考文献

- 1) 高野 俊介・柳川 晃夫：フライアッシュコンクリート用特殊 AE 剤の試験、セメント技術年報、Vol. 10, pp. 207-213 (1956)
- 2) 内川 浩・宇智田 俊一郎・小川 賢治：フライアッシュのキャラクターと各種混和剤の吸着特性、セメント技術年報、Vol. 36, pp. 53-56 (1982)
- 3) 奥野 亨・浅野 研一・大浦 鉄男：フライアッシュセメントの空気通性について、セメント技術年報、Vol. 38, pp. 150-153 (1984)