

論文 高強度流動化コンクリートの工学的特性に及ぼす単位結合材量の影響に関する基礎的研究

金 武 漢^{*1}・ 洪 悦 郎^{*2}・ 鎌 田 英 治^{*3}・ 金 振 晩^{*4}

要旨：本研究は高強度流動化コンクリートの施工性及び工学的特性に及ぼす単位結合材量とフライアッシュの影響を実験的に考察したものである。水結合材比0.25, 0.30及び0.35, 単位結合材量400~700 kg/m³, フライアッシュの代替率0, 10%の範囲で行った本実験では, 同一な水結合材比で単位結合材量が低下するほど圧縮強度, 引張強度などの各種工学的特性が改善される傾向がみられ, フライアッシュの使用は高強度流動化コンクリートの経済性の改善ばかりでなく施工品質の向上及び工学的特性の改善にも寄与する傾向を示している。

キーワード：高強度流動化コンクリート, 単位結合材量, フライアッシュ, 水結合材比

1. はじめに

高強度流動化コンクリートは, 単位セメント量の使用が多くなるため, 水和熱による温度ひび割れ龜裂の發生の危険を増加させる傾向があり, かつコンクリートの構成材中で一番高價なセメントの使用量の増加によって高強度流動化コンクリートの價格が高くなる。これらの問題点はセメントの使用量を少なくさせたり, セメントより安價で急速な水和反應が發生しないフライアッシュの使用によって, ある程度改善させることができるが, これに関する定量的な研究はまだ十分ではない[1-2]。そこで, 本研究は, 高強度流動化コンクリートの施工性および工学的特性に及ぼす単位結合材量の影響を定量的に把握することを目的としたものである。

2. 実験計画及び方法

2.1 実験計画

本研究の実験要因及び水準としては, 表1のように, 水結合材比は0.25, 0.30, 0.35とし, 単位結合材量は同一な水結合材で3水準ずつとし, 各調合条件でセメントの10%をフライアッシュで置換したコンクリートと無混入コンクリート(以下プレーンコンクリートという)を比較・検討した。

表1 実験要因及び水準

Factor		Level		
W/B		0.25	0.30	0.35
Binder Content (kg/m ³)		700 650 600	600 550 500	500 450 400
Replacement Proportion of Flyash (%)		0 ¹⁾ ・10 ²⁾		
Test Items	Fresh Concrete	Mixing temperature Air content Unit weight Compacting factor Slump and Flow(Variation in according to elapsed time)		
	Hardened Concrete	Compressive strength Splitting tensile strength Static modulus of elasticity		

1) プレーンコンクリート(PLC)

2) フライアッシュコンクリート(FAC)

* 1 大韓民國忠南大學教授 工科大學建築工學科, 工博(正會員)

* 2 關東學院大學教授 工學部建築工學科, 工博(正會員)

* 3 北海道大學教授 工學部建築工學科, 工博(正會員)

* 4 大韓民國忠南大學校大學院 建築工學科, 博士課程

2. 2 使用材料

本実験で使用したセメント、骨材、高性能減水剤およびフライアッシュの物理的性質はおのつぎのようである。

(1) セメント：比重 3.15, 粉末度 $3250\text{ cm}^2/\text{g}$, 28日圧縮強度 350 kg/cm^2

(2) 細骨材：川砂, 粒径 2.5 mm, 比重 2.61, FM 2.98

(3) 粗骨材：碎石, 粒径 25 mm,

比重 3.44, FM 7.38

(4) 高性能減水剤 (SP) : ナフタレン系, 比重 1.10, 液状.

(5) フライアッシュ (FA) : 比重 2.1, 粉末度 $4050\text{ cm}^2/\text{g}$

2. 3 コンクリートの調合および混練ゼ方法

コンクリートの混練ゼ方法を圖1に、調合は表2に示す。

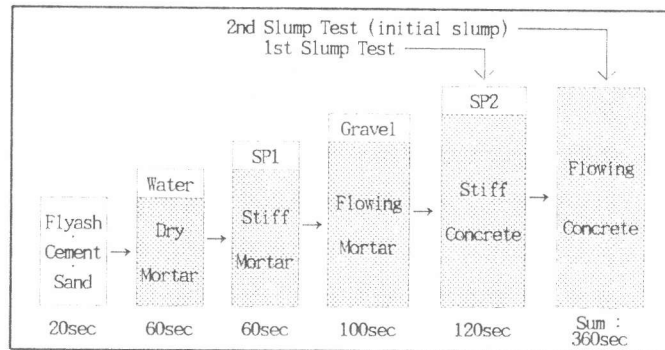


圖1 コンクリートの混練ゼ方法

3. 実験結果及び考察

3. 1 フレッシュコンクリートの試験

結果の分析および検討

3. 1. 1 空気量

単位結合材量による空気量の變化を示した圖2によると、水結合材比が5%増えるほど空気量も平均0.4%ずつ増えることが表れている。また、単位結合材量の變化及びフライアッシュの使用により一定の傾向はみられなかった。

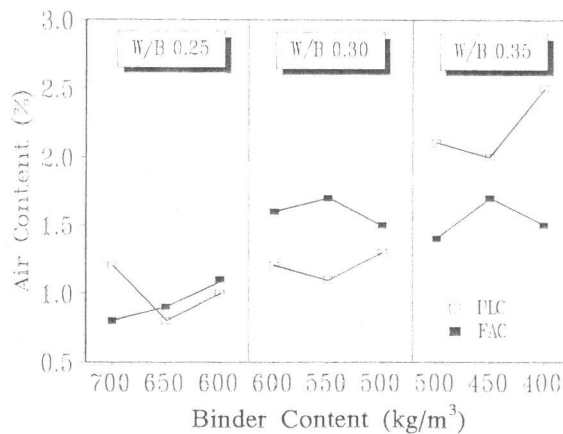


圖2 単位結合材量による空気量の變化

表2. コンクリートの調合

W/B	Binder Content (kg/m³)	Replacement Proportion of Fly Ash (%)	Aiming Slump (cm)		Dosage of SP (%)			S/A (%)	Unit Weight (kg/m³)				
			1st	2nd	1st	2nd	sum		Water	Cement	Flyash	Fine Aggregate	Coarse Aggregate
0.25	700	0/10			0.7	0.5	1.2	37.0	175	700	0	572	1287
	650	0/10			0.9	0.2	1.1		163	650	0	600	1345
	600	0/10			1.0	0.5	1.5		150	600	0	629	1407
0.30	600	0/10			0.9	0.6	1.5	37.5	180	600	0	608	1331
	550	0/10	10±2	20±2	0.6	0.5	1.1		165	550	0	637	1397
	500	0/10			0.8	0.5	1.3		150	500	0	666	1465
0.35	500	0/10			1.0	0.3	1.3	41.0	175	500	0	702	1331
	450	0/10			0.9	0.6	1.5		158	450	0	736	1400
	400	0/10			0.2	0.3	0.5		140	400	0	773	1469

3. 1. 2 スランプ

圖3に調合条件による1次と2次スランプの測定結果および高性能減水剤の添加率の變化を示した。試し練りから高性能減水剤の添加率を決定したが、モルタルを流動化させた後に粗骨材を投入してスランプを測定したもので、モルタルの状態でのコンクリートのコンシステンシーを豫測することがむずかしかつたので、1次スランプが目標スランプ8~12cmを外れる場合が多く表れた。一方、2次スランプは水結合材比0.25、單位結合材量650kg/m³のプレーンコンクリートを除けば目標スランプ値をよく満足させている。

單位結合材量による高性能減水剤の添加量の變化をみると、水結合材比0.35の場合單位結合材量の低減によって高性能減水剤の添加率は著しく増加する傾向がみられ、單位結合材量400kg/m³の調合は500kg/m³の調合より約3倍程増加したが、水結合材比が減少するほどこのような傾向は小さくなって水結合材比0.25の場合單位結合材量の變化による高性能減水剤の添加率の變化はほとんど表れなかつた。また、フライアッシュを代替した場合同一条件のプレーンコンクリートに比べて同一のスランプを得るための高性能減水剤の添加率は平均0.2%程度増加している。

3. 1. 3 フロ-値及び締固め係數

圖4は單位結合材量によるフロ-値とスランプフロ-値及び締固め係數の變化を示したもので、フロ-値とスランプフロ-値は同一水結合材比で單位結合材量の變化及びフライアッシュの使用による有意な傾向は表れないが、スランプに比べて變化が大きいことが表れている。

また、締固め係數はスランプ値が小さい水結合材比0.25、單位結合材量650kg/m³の調合の場合の値0.84、0.85を除けば、その外は0.95以上の大きい値をみせている。

3. 1. 4 スランプの経時變化

圖5はスランプ値の経時變化を示したもので、水結合材比が小さい程経時15分のスランプロスが大きくなり、實際の現場に適用する場合、初期流動性損失を減らす対策を講じるべきであると思われる。單位結合材量による傾向をみ

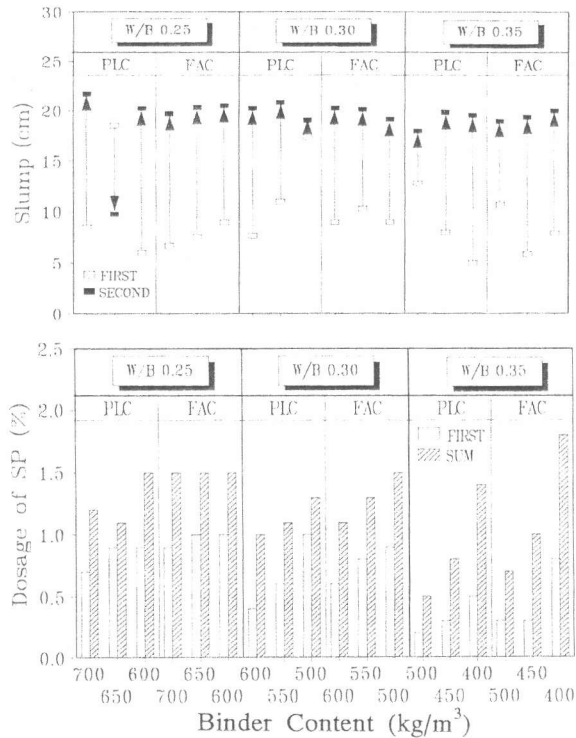


圖3 單位結合材量によるスランプ及び高性能減水劑の添加率の變化

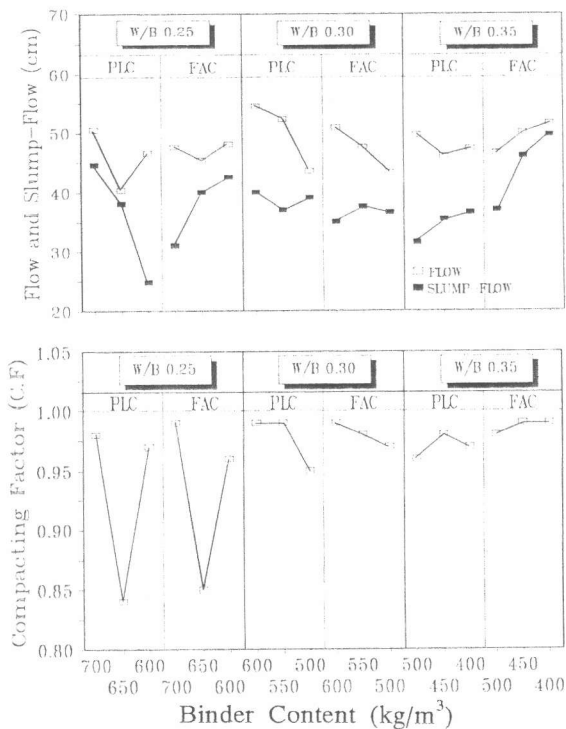


圖4 單位結合材量によるフロ-とスランプフロ-及び締固め係數の變化

ると水結合材比0.25の場合、特別な傾向はみられないが、水結合材比0.30では単位結合材量が少ない程経時によるスランプロスが大きくなり、水結合材比0.35では単位結合材量500kg/m³のFACを除けば、単位結合材量が多い程スランプロスが大きくなる傾向がみられている。

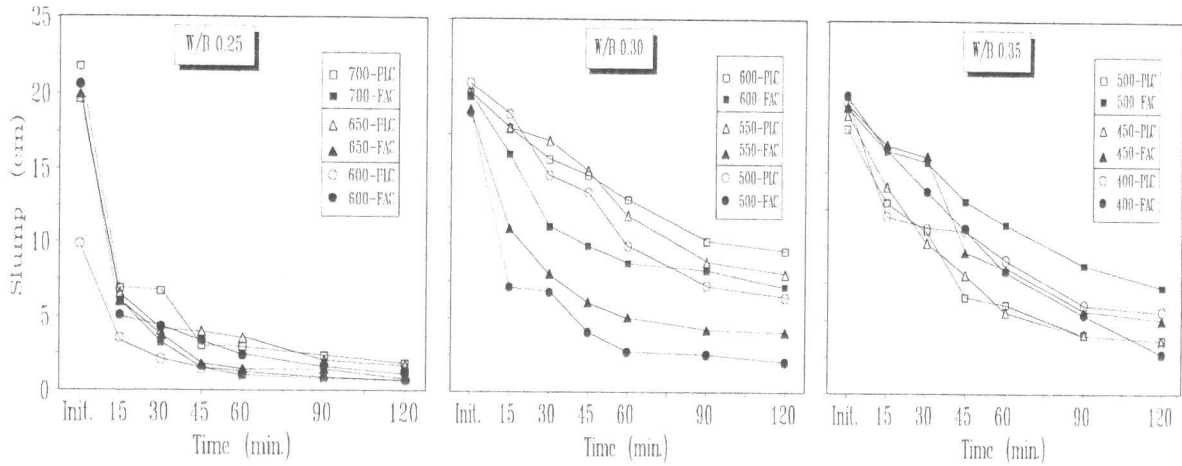


図5 スランプの経時変化

3. 1. 5 流動性測定値間の相関関係の分析

スランプ値とスランプフロー値の関係は、図6に示すように、スランプが20cm以上では小さなスランプの変化でもスランプフローは大きく変わる傾向をみせ、高强度流動化コンクリートのワーカビリティの判定時にはスランプフローを採用することがよいと思われる。

図7はスランプとASTM-C124によって求めたフロー値の関係を示したもので、普通コンクリート[4]より本実験の高强度コンクリートの方が、同一なスランプでフローが小さい傾向をみせている。またスランプとASTMフローの関係は3次式で表現されることを示している。

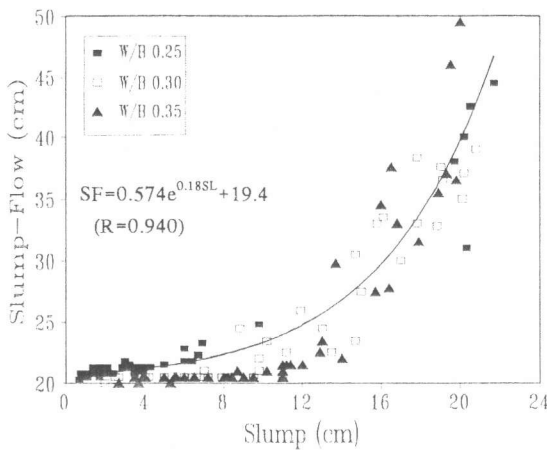


図6 スランプとスランプフローの関係

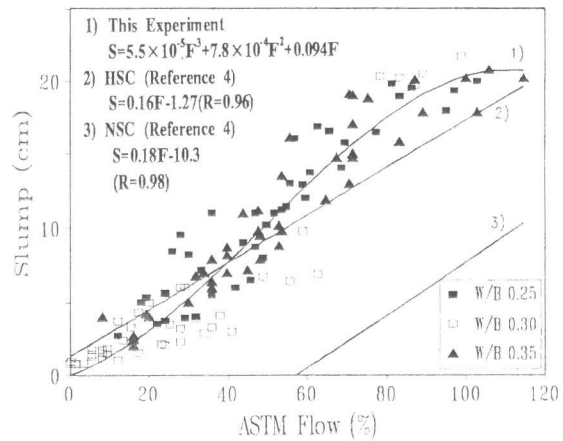


図7 ASTM法によるフローとスランプの関係

3. 2 硬化コンクリートの試験結果の分析及び検討

3. 2. 1 圧縮強度

単位結合材量によるコンクリートの圧縮強度の發現を示した図8でわかるように、圧縮強度は水結合材比0.35では単位結合材量による一定な傾向がみられないが、水結合材比0.25及び0.30の場合ではプレ-ンコンクリートとフライアッシュコンクリートとも単位結合材量が少

なくなるほど圧縮強度が増加する。このような傾向はフライアッシュコンクリートの方がより著しくて相対的に大きい強度発現を示している。

また、水結合材比が減少するほど圧縮強度の増加が著しい現象を見せて高強度領域では水結合材比が強度に及ぼす影響が相対的に大きいことを表れた。

フライアッシュコンクリートはプレーンコンクリートに比べて、若材齢では圧縮強度が低い、材齢が増加するほど高い圧縮強度をみせている。特に水結合材比0.25の場合、単位結合材量 600kg/m^3 のフライアッシュコンクリートは材齢8週で圧縮強度 861kg/cm^2 の高強度を発現され、単位結合材量 700kg/m^3 のプレーンコンクリートに比べて単位結合材量は 100kg/m^3 、単位セメント量は 160kg/m^3 が少ないけれども 100kg/cm^2 以上の強度を大きく発現している。このように高強度流動化コンクリートの領域ではフライアッシュがコンクリートの圧縮強度の増進に大きく寄与することを示している。

材齢4週圧縮強度に対する材齢1、8週の圧縮強度の比率を示した図9でわかるように、プレーンコンクリートに比べてフライアッシュコンクリートは、若材齢の強度発現率は低い、長期材齢の強度発現率は高く、また単位結合材量及び水結合材比による特別な傾向はみられなかった。

3.2.2 引張強度

図10でわかるように、コンクリートの圧縮強度が増加すると引張強度も増加するが、圧縮強度に対する引張強度の比率は低下している。この傾向は既存の研究報告と同一な傾向で〔2, 5〕、同一圧縮強度で引張強度は友澤氏らの実験結果〔5〕と同一であるが、ACIの式に比べて低い値となっている。

3.2.3 弾性係数

図11は圧縮強度と静弾性係数の関係を示したもので本実験の弾性係数は $3.6 \sim 4.5 (x10^5\text{kg/cm}^2)$ の範囲で、日本建築學會式(普通コンクリート)及びACI式(高強度コンクリート)に比べて、同一圧縮強度で低い弾性係数となっている。

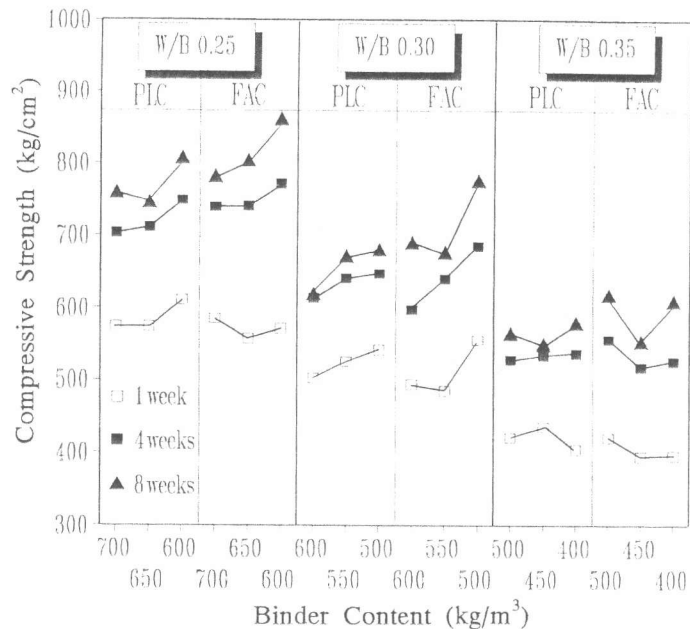


図8 単位結合材量による圧縮強度の変化

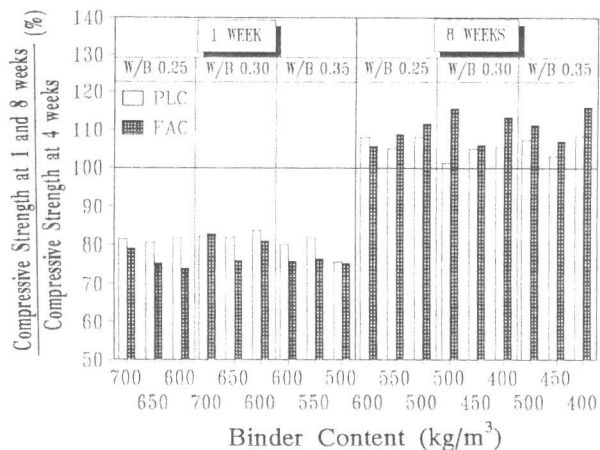


図9 材齢4週圧縮強度に対する材齢1、8週の圧縮強度の比率

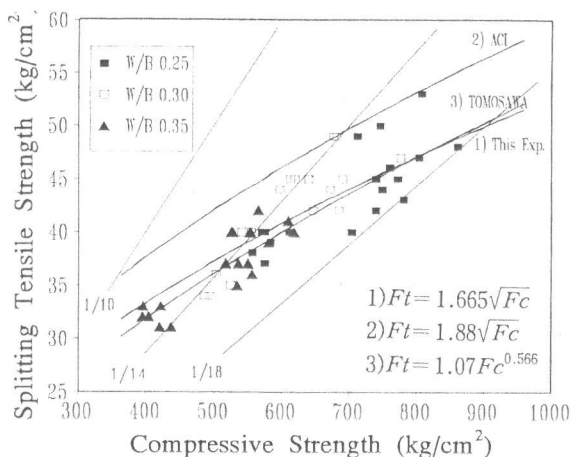


圖 1 0 壓縮強度と引張強度の関係

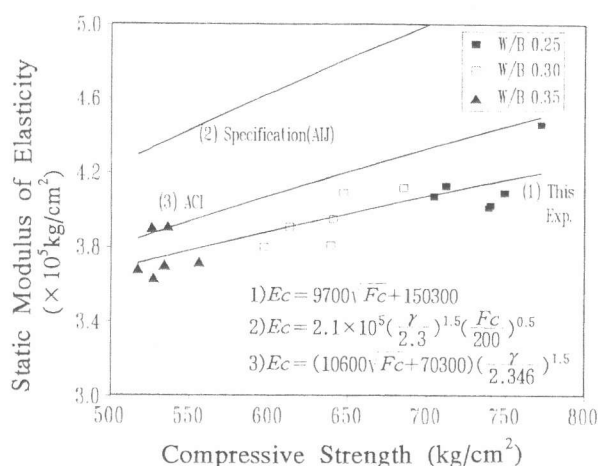


圖 1 1 壓縮強度と弾性係数の関係

4. 結論

高强度流動化コンクリートの工学的特性に及ぼす単位結合材量の影響に関して実験を行なった結果はつぎのようである。

1. 水結合材比0.25では700-600kg/m³, 0.30では600-500kg/m³, 0.35では500-400kg/m³の単位結合材量の範囲で、水結合材比が同一であれば単位結合材量が減少するほど所要のコンシステンシーを得るための高性能減水剤の使用量は若干増えるが、壓縮強度などの工学的特性は改善される傾向をみせ、高强度流動化コンクリートの製造時に小さい単位結合材量の調合を選択することが経済性の側面ばかりでなく工学的特性の改善にも有利であることを示されている。
2. 水結合材比0.25の場合、単位結合材量600kg/m³のフライアッシュコンクリートは材齢8週に壓縮強度861kg/cm²の高强度を發現し、単位結合材量700kg/m³のコンクリートに比べて単位結合材量は100kg/m³, 単位セメント量は160kg/m³少ないが、100kg/cm²以上の壓縮強度を大きく發現し、流動性も同一な水準をみせており、フライアッシュの混入が高强度流動化コンクリートの工学的特性の改善に有効であることが明らかになった。

参考文献

- 1) 日本建築學會：高强度コンクリートの技術の現状，丸善，1991，1
- 2) American Concrete Institute Committee 363：State of the Art Report on High Strength Concrete, Vol. 81, No. 4, ACI Journal, pp. 364 - 411, July-Aug. 1984
- 3) Ramyar, K. : The Effect of Fly Ash Including on the Compressive Strength of Fly Ash Mortar and Concrete, Forth CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete(Supplementary Papers), pp.139 - 158, May 1992
- 4) 出光 隆，高山俊一，高性能減水剤を用いた高强度コンクリートのワーカビリティに関する研究，第33回土木學會年次學術講演梗概集・第5部，V - 66，1978
- 5) 友澤史紀・野口貴文・小野山貫造：高强度・超高强度コンクリートの基礎的力學特性に関する調査，日本建築學會大會學術講演梗概集A（中國），pp. 497 - 498, 1990. 10
- 6) 竹内博幸，山影久尚，山口憲司，岩井隆彰：設計基準強度600kgf/cm²のコンクリートの實構造物への適用，コンクリート工學年次論文報告集，第16巻 第1-1號，pp.283~288, 1994