

원형강관으로 구속된 콘크리트의 역학적 거동 특성에 관한 연구

A Study on Properties of Mechanical Behaviors of Concrete Confined by Circular Steel Tube

박정민* 김화중*

Park, Jeong Min Kim, Wha Jung

요 약

충진형 강관콘크리트 구조는 강관과 콘크리트 두 재료의 이질적인 재료특성을 상호 보완적으로 발휘하여 구조적 성능향상을 꾀한 것으로서 제구조 특성상 우수한 구조형식이라 할 수 있다.

강관으로 구속된 콘크리트가 중심축력을 받게 되면 내부의 콘크리트는 압괴에 의한 체적 팽창을 외부의 강관에 의해 구속 받게 되므로 3축 압축응력 상태로 되어 압축강도가 증대된다.

또한 콘크리트의 압괴에 의한 탈락 현상이 방지되므로 단면의 결손이 없어져 내력 저하가 작아진다는 잇점을 가진다. 따라서 본 연구에서는 원형강관으로 구속된 내부 콘크리트의 구조적 거동 특성을 규명하기 위한 것으로서 폭두께비와 충전 콘크리트의 강도를 주요 변수로 하여 일련의 실험을 통하여 강관으로 구속(3축 응력)된 콘크리트의 구조적 거동 특성을 고찰하였다. 일련의 실험을 통하여 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 강관에 의한 콘크리트의 구속효과는 강관의 폭두께비와 충전 콘크리트의 강도가 낮을수록 현저하며, 원형강관으로 구속된 내부 콘크리트는 최대내력시의 변형능력에 있어서 횡방향 구속이 없는 콘크리트보다 4~7배 정도까지 증대시켜 연성효과를 높일수 있을 것으로 기대된다.

(2) 콘크리트의 구속계수를 이용하여 강관으로 구속된 내부 콘크리트의 강도와 콘크리트 충전강관 거동의 최대내력을 산정할수 있는 식을 제시하였다.

Abstract

We could say that the concrete filled steel tube structure is superior in the view of various structure properties as to promote improvement of structural capacity to demonstrate heterogeneous material properties interdependently.

The compressive strength is increased by putting to tri-axial stress because lateral expansion of concrete is confined by the steel tube, when concrete confined by steel tube fall under centric axial load. Also, it have an advantage that decrease of load carrying capacity is small, not occuring section deficiency due to protect falling phenomenon by compression failure of concrete. So this study investigated for structural behaviors properties of concrete confined by steel tube throughout a series of experiment with key parameter, such as diameter-to-thickness(D/t) ratio, strength of concrete as a study on properties of structural behaviors of confined concrete confined by circular steel tube(tri axial stress). From the experiment results, the obtained results are summarised as follow.

* 정회원, 경북대학교 건축공학과 박사과정

** 정회원, 경북대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

• 본 논문에 대한 토의글 1995년 8월 31일 까지 학회로 보내 주시면 1995년 10월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

(1) The restraint effect of concrete by steel tube was presented significantly as the D/t ratio of steel tube and the strength of filled concrete decrease, and the confined concrete by circular steel tube was increased respectively twice as much as 4~7 in deformation capacity at the ultimate strength, compared with those of non-confined concrete, so expected to increase flexible effect of concrete.

(2) The empirical formula to predict the ultimate capacity of confined concrete by steel tube and concrete filled steel tube column using restraint coefficient of concrete were proposed.

Keywords : confined effect, plastic deformation, ultimate capacity, tri-axial stress

1. 서 론

최근 도시 구조물의 양상은 지가의 상승과 한정된 공간내에서 효율적인 활용을 위하여 고층화 되어가고 있다. 건물의 고층화와 아울러 건설 현장의 여건은 건설인력의 고령화 및 3D 기피현상으로 건설 인력난이 가중되고 있는 실정이다. 이와 같은 상황하에서 최근 국내·외적으로 과거의 구조적 제약을 극복하고 공간이용의 극대화를 꾀할 수 있는 새로운 구조시스템의 개발에 대한 의욕이 높아지고 있다. 그 하나의 방안으로서 현재 많은 연구자들이 콘크리트 충전 강관 구조에 대해 관심을 가지고 활발한 연구 활동들을 행하고 있다.^(7~24)

이러한 콘크리트 충전강관 구조는 콘크리트를 축방향 철근보다는 대근 방향의 철근으로서 보다 효과적인 구조적 성능향상을 가져올 수 있다는 생각에서 가장 효과적인 대근 보강 방법으로서 강관을 사용하여 콘크리트를 구속시키는 개념으로 시작하여 강과 콘크리트라는 이질 재료의 재료 특성을 상호 보완적으로 조합하여 구조적 성능 향상을 꾀한 것이다.⁽²⁵⁾

콘크리트 충전 강관구조는 강관 구조의 입장에서 보면 강관의 국부좌굴이 충전된 콘크리트에 의해 억제되며, 콘크리트의 축압축 내력 및 열용량에 의해 내화 성능이 향상되는 잇점 외에 순철골조에 비해 강재의 일부를 콘크리트로 치환함으로써 가격을 줄일수 있는 장점을 가진다. 한편, 콘크리트의 입장에서 보면 콘크리트가 강관에 의해 구속되어 있기 때문에 콘크리트가 지닌 최대 약점인 연성을 증가시켜 변형능력을 향상 시킬수 있으며 거푸집이 불필요하기 때문에 공기단축 및 노동인

력의 절감효과로 인한 건설 현장에서의 시공성 개선 및 대규모 구조로의 적용성을 높일수 있는 우수한 구조 형식이라 할 수 있다. 이러한 구조적, 시공적 성능의 우수함으로 인해 관심있는 학자들에 의해 많은 연구들이 행해지고 있지만 그 연구성과들의 주류를 이루고 있는것은 강관구조의 입장에서 구조적 성능 향상을 꾀한 것으로서 강관내에 충전된 콘크리트의 최대내력 및 변형능력에 대한 연구성과들은 미흡하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 충전 강관을 고층 건물의 압축부재로 이용하기 위한 기초적 단계의 연구로서 외부의 강관이 축하중의 전달이 없는 단순히 내부 콘크리트를 구속시키는 역할만을 하는 경우를 상징하여 강관의 폭두께비와 충전된 콘크리트의 강도를 주요변수로 하여 구속된 콘크리트의 축압축 기동 특성을 실험을 통하여 고찰해 보고자 한다.

2. 실험 계획

2.1 시험체 계획

시험체는 기성 제품(P사)인 원형강관(SPS41)을 사용 하였으며 표 1에 나타내는 바와 같이 폭두께비는 7종류로, 충전 콘크리트의 강도는 3종류로 하였으며 재하방법은 콘크리트면만 재하되는 부분재하로 하여 중공강관 시험체 7개와 콘크리트면만의 부분재하로 하여 21개로 총 28개의 시험체를 제작 하였다.

시험체 일람을 표 1에 나타낸다.

Table 1 The list of test specimens

Size(mm)		D/t ratio (D/t)	Radius of gyration(i)	Area A(cm ²)	A _s /A _c 비			L(cm)	Remark	
D	t				A _s	A _c	A _s /A _c		Strength of concrete	Loading condition
60.5	3.2	18.91	2.03	5.76	7.1	25.774	0.223	18.15	210kg/cm ² 300kg/cm ² 400kg/cm ² X : Hollow steel tube Y : Partial loading (concrete plane)	
76.3	4.0	19.08	2.56	9.085	9.085	41.034	0.221	22.89		
89.1	3.2	27.84	3.04	8.636	8.636	57.923	0.149	26.73		
	4.0	22.28	3.01	10.69	10.69	56.850	0.188	26.73		
114.3	3.2	35.71	3.93	11.17	11.17	96.894	0.115	34.29		
	4.5	25.40	3.89	15.52	15.52	94.640	0.164	34.29		
139.8	4.5	31.07	4.79	19.13	19.13	143.70	0.133	41.94		

2.2 실험 방법

시험체의 양단 구속조건은 구좌를 이용하여 단순재하로 하였다. 재하 방법은 U.T.M(200t)을 이용하여 중공강관의 경우 압축시 등분포 하중을 받도록 양단을 재축에 직각되도록 가공한 후 end plate를 용접 부착하였다.

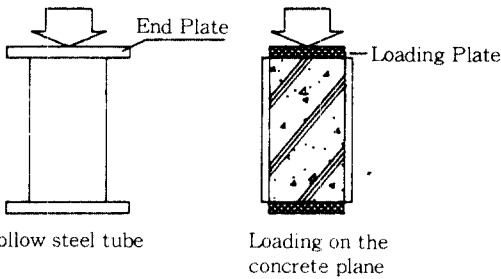


Fig.1 The Loading condition of stub column test specimens

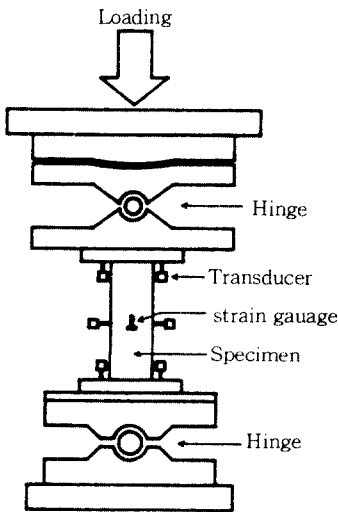


Fig.2 The Set up of experiment

부분재하의 경우 모재를 cutting하여 콘크리트를 강관면 위까지 충전한 후 28일 양생시킨 후 전기 cutting기를 사용하여 강관면과 일치하도록 절단 하였다. 가력은 그림 1에 나타내는 바와 같이 하였으며 시험체의 축변위, 횡변위, 각변위를 측정하기 위해 시험체 상, 하단부 및 중앙부에 변위계를 설치하고 변형이 가장 큰 시험체 중앙부에 Wire Strain Gauge를 부착하여 중앙부의 변형도 분포를 측정 하였다.

그림 2에 실험 Set Up을 나타낸다.

3. 소재의 역학적 특성 시험

소재의 기계적 성질을 파악하기 위하여 강재에 대해서는 인장 및 단주압축 실험을 행하였으며, 콘크리트에 대해서는 각각의 강도별로 10Φ×20h (cm)의 공시체 9개씩을 제작하여 압축강도 실험을 행하였다.

3.1 강재 실험

(1) 강재의 인장강도 실험

Table 2 The results of tension test

Size (mm)		σ_y (t/cm ²)	σ_{max} (t/cm ²)	σ_y/σ_{max}	elo(%)
60.5	3.2	3.701	4.113	1.111	20.7
76.3	4.0	4.725	5.138	1.087	20.2
89.1	3.2	4.443	4.995	1.124	21.5
	4.0	5.202	5.847	1.124	21.2
114.3	3.2	4.101	4.779	1.165	22.0
	4.5	3.945	4.660	1.181	20.9
139.8	4.5	3.902	4.654	1.193	21.8

강재의 역학적 성질을 파악하기 위하여 각각의 단면형에 대해 시험체 모재로부터 각각 3개씩 총 21개의 시험편을 절취하여 강재의 인장 시험을 행하였다. 강재의 인장시험 결과를 아래의 표 2에 나타낸다.

(2) Stub column test

제작 과정에 따른 영향을 파악하기 위해 원형 강관으로부터 시험편을 절취하여 Stub column test를 행하였다.

Stub column 시험체는 부재 시험체와 같은 모재로서 잔류응력을 충분히 포함하고 압축시 탄성역이나 소성역에서 좌굴하지 않도록 SSRC 추장에 따라 직경의 3배를 모재로부터 절취하여 양단부에 end plate를 용접 부착하였다. 실험은 UTM 200t을 사용하여 시험체 상단부에 구좌를 설치하여 단순재하 하였다.

Table 3 The results of stub column test

Size(mm)		σ_y	σ_{max}	σ_y/σ_{max}	E
D	t	(t/cm ²)	(t/cm ²)		(t/cm ²)
60.5	3.2	3.601	4.332	1.203	2064
76.3	4.0	3.708	4.335	1.169	2036
89.1	3.2	3.821	4.218	1.104	2136
	4.0	3.823	4.408	1.153	2135
114.3	3.2	3.514	3.778	1.075	2079
	4.5	3.573	4.101	1.148	2055
139.8	4.5	3.890	4.262	1.096	2095

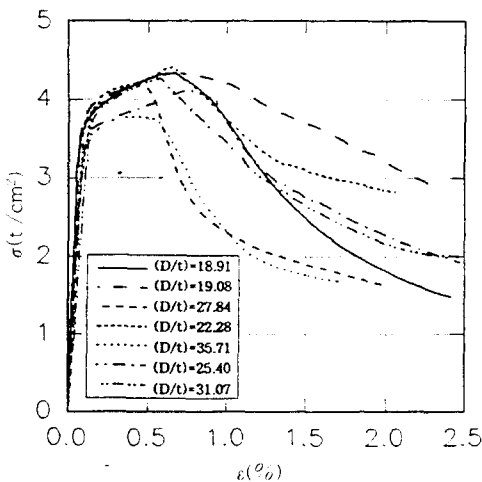


Fig.3 The relationship of stress-strain by stub column test

Stub column test 시험 결과를 표 3과 그림 3에 나타낸다.

3.2 충전 콘크리트의 압축강도 실험

콘크리트 충전 단주 압축시험체에 사용된 충전 콘크리트의 압축강도를 구하기 위해 KS F 2404의 규정에 따라 콘크리트 강도별로 10Φ×20h(cm)의 공식체 9개씩을 제작하여 압축강도 실험을 행하였다. 충전 콘크리트의 강도 평가에 있어서 압축강도는 표준편차에서 가장 벗어나는 3개의 시험체를 제외한 6개의 평균치를 압축강도로 하였다.

콘크리트의 배합표와 실험결과를 표 4에 나타내고 응력 변형 관계를 그림 4에 나타낸다.

Table 4 The proportion and experiment results of concrete

Design strength (kg/cm ²)	GMS (mm)	SP (cm)	Unit weight(kg/m ³)					CS (kg/cm ²)	ST (%)
			C	S	G	W	A		
210	13	12	334	896	963	176	2.5	226	0.26
300	12	429	685	1051	169	3.2	311	0.30	
400	14	533	744	931	160	8.0	387	0.35	

Where : GMS : The maximum size of coarse aggregate
 SP : Slump C : Cement
 S : Sand G : Gravel
 W : Water A : High range water reducer
 CS : The average compressive strength of concrete
 ST : The average strain in maximum strength

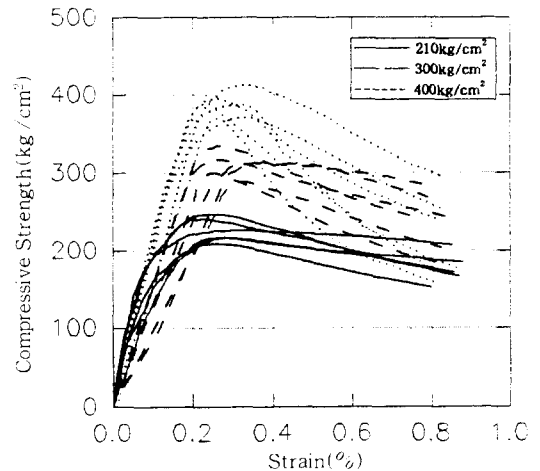


Fig.4 The relationship of stress-strain of concrete

4. 콘크리트 충전강관 단주의 실험 및 실험 결과

4.2 실험결과

4.1 실험

본 연구는 콘크리트 충전강관 단주에 대해 콘크리트 강도와 강관의 폭두께비를 주요 변수로 축압축 실험을 행하여 강관에 의해 구속된 충전 콘크리트의 거동 특성 및 콘크리트의 내력 산정식과 충전 강관콘크리트 기둥의 변형능력 및 종국내력을 산정할 수 있는 실험식을 제안하기 위한 것이다. 충전 강관 기둥에 대한 실험장면을 사진 1에 나타내며 실험결과를 표 5에 나타낸다.

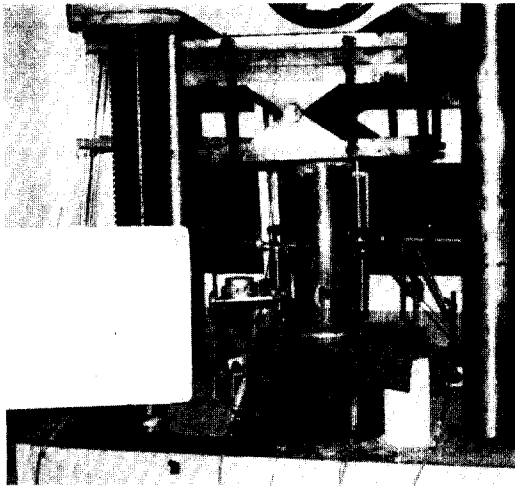


Photo.1 The scene of experiment for concrete filled steel tube column

(1) 하중-축변위 관계

그림 5는 콘크리트 충전 강관 단주의 최대하중 축변위 곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 대체적으로 콘크리트의 강도가 높을수록 초기 강성이 높고 콘크리트의 강도가 동일한 경우는 경두께비의 차이에 의한 초기 강성의 차이는 없는 것으로 나타났다.

한편 최대내력 이후의 저하 구배를 살펴보면 콘크리트의 강도가 낮을수록 최대하중 후 내력 저하가 완만하고 강도가 높을수록 저하 구배가 심하다.

(2) 하중 횡변위 관계

그림 6은 콘크리트 충전 강관 단주의 최대하중 횡변위 곡선을 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 압축응력의 증가에 따른 횡방향의 변위를 살펴보면 대체적으로 하중 초기상태인 탄성역에서는 충전 콘크리트의 강도에 관계없이 횡방향 변형 양상이 거의 일정하다. 하지만 항복하중 이후의 비탄성역에서는 콘크리트의 강도가 낮을수록 횡방향 변형이 증가하며 강관의 폭두께비에 관계없이 최대내력 이후의 저하구배가 완만하게 나타났다.

(3) 파괴 양상

콘크리트 충전 강관 단주에 대한 실험 결과 그 파괴양상을 살펴 보면 대체적으로 충전 콘크리트의 강도가 210, 300kg/cm²에서는 콘크리트의 압력에 의해 시험체 단부 및 중앙부에서 강관의 면

Table 5 The experiment results for concrete filled steel tube column

Size(mm)		D/t	$\bar{\alpha}$	P_{max}			P_{max}/cP_{max}			$P_{max}/cP_{max}+P_{sv}$			P_{max}/hP_{max}		
D	t			210	300	400	210	300	400	210	300	400	210	300	400
60.5	3.2	18.91	0.790	33.62	35.90	36.71	5.772	4.479	3.681	1.266	1.249	1.195	1.347	1.439	1.471
76.3	4.0	19.08	0.814	53.53	56.72	60.04	5.772	4.444	3.781	1.246	1.221	1.211	1.359	1.440	1.525
89.1	3.2	27.84	1.177	55.57	60.03	65.65	4.245	3.344	2.929	1.206	1.193	1.185	1.526	1.670	1.802
89.1	4.0	22.28	0.943	66.10	71.34	75.82	5.145	4.035	3.446	1.231	1.218	1.206	1.403	1.514	1.609
114.3	3.2	35.71	1.468	72.69	82.03	90.33	3.319	2.772	2.409	1.189	1.182	1.177	1.723	1.944	2.141
114.3	4.5	25.40	1.059	92.89	102.0	109.1	4.343	3.466	2.978	1.209	1.202	1.185	1.459	1.602	1.714
139.8	4.5	31.07	1.339	128.1	141.5	153.7	3.944	3.168	2.764	1.198	1.189	1.182	1.571	1.737	1.885

Where : D/t → Diameter to Thickness $\bar{\alpha}$ → Non-dimension D/t ratio P_{max} → 충전강관 최대내력
 P_{max} → 콘크리트 실린더 강도 $P_{max}+P_{sv}$ → Superimposed strength P_{max} → Ultimate strength of hollow steel tube

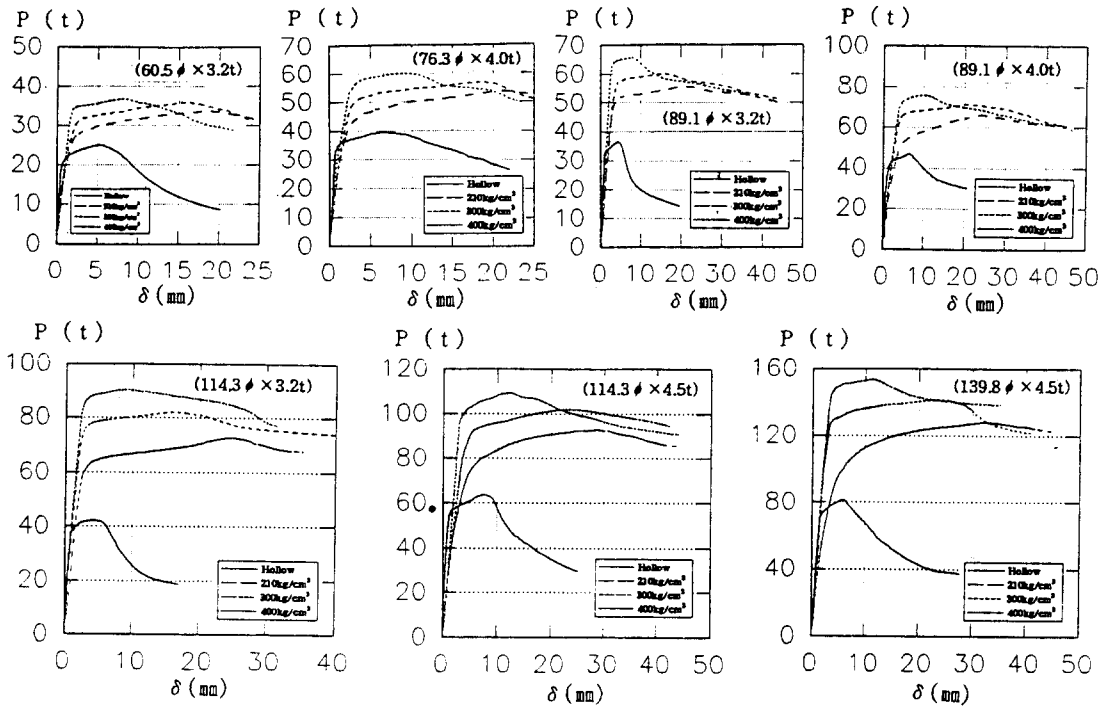


Fig.5 The relationship of Load-axial displacement

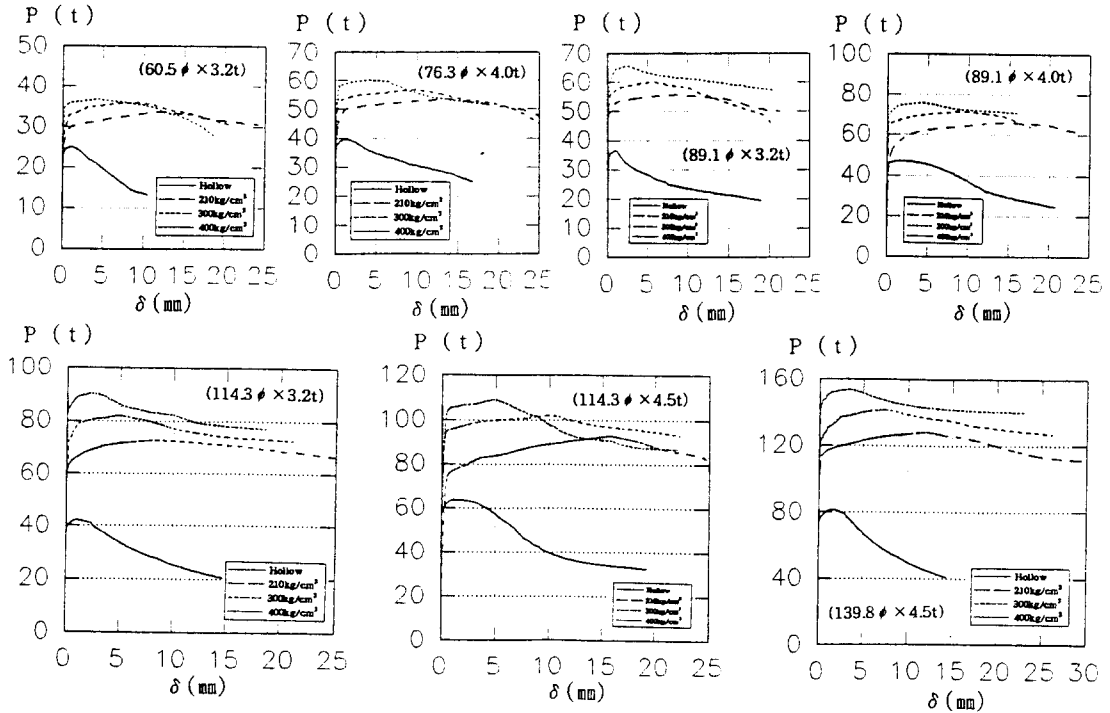
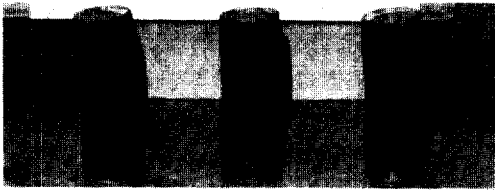


Fig.6 The relationship of Load-transverse displacement

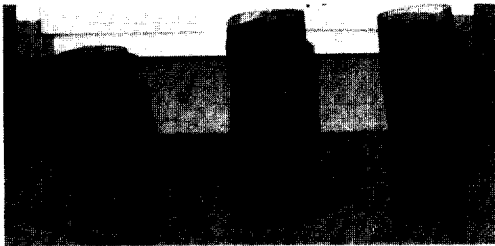
의 좌굴이 일어남으로서 강관내벽으로부터 콘크리트가 탈락되어 부분적인 국부좌굴에 의해 내력이 저하한 것으로 사료된다.

한편 충전 콘크리트의 강도가 400kg/cm^2 의 경우는 폭두께비에 관계없이 대부분의 시험체의 파괴양상이 충전 콘크리트의 체적팽창에 의해 강관중양부가 부풀어 오르면서 최대내력 이후 내력저하가 급격히 일어났다. 사진 2에 시험체의 파괴양상을 나타낸다.

(60.5 Φ ×3.2t)



(76.3 Φ ×4.0t)



(89.1 Φ ×3.2t)



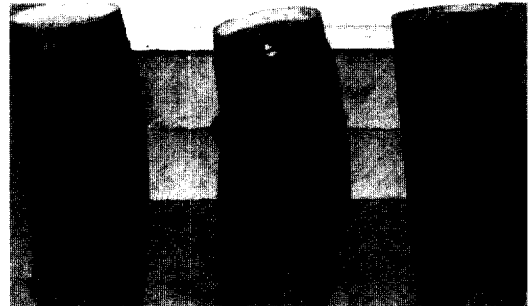
(89.1 Φ ×4.0t)



(114.3 Φ ×3.2t)



(114.3 Φ ×4.5t)



(139.8 Φ ×4.5t)

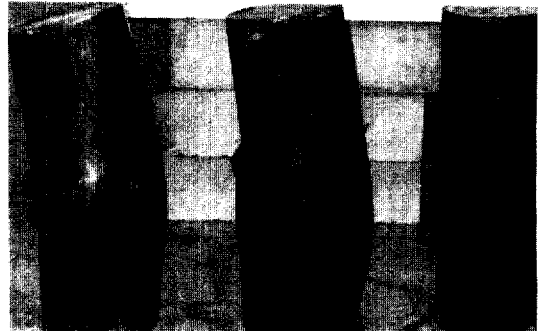


Photo.2 The fracture mode of concrete filled steel tube column

5. 고 찰

5.1 구속 효과의 고찰

강관에 의한 콘크리트의 구속효과는 재하조기인 탄성역에서는 내부 콘크리트의 팽창에 따라 강관과 콘크리트면의 부착에 의해 구속효과를 충분히 발휘하는 것으로 나타났으며 항복하중 이후인 비탄성역에서는 구속효과가 약간씩 저하되는 것

으로 나타났다. 이는 외부강관이 횡방향의 인장력으로 작용하여 콘크리트면 단부에서의 압괴현상에 의해 Slip 현상이 발생하여 인장과괴에 가까운 양상을 나타내면서 시험체 단부 및 중앙부에서 약간의 변위 좌굴을 수반하여 강관면으로부터 콘크리트가 탈락하여 부착효과를 기대할 수 없기 때문인 것으로 사료된다.(사진 3)

이러한 양상은 경두께비가 적을수록 콘크리트의 강도가 낮을수록 현저하게 나타났다.

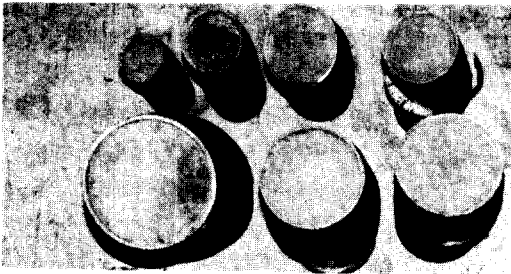


Photo.3 The fracture made in the edge of test specimens

5.2 콘크리트 충전강관기둥에 대한 소성 변형능력의 평가

(1) 변형능력의 평가

그림 7은 강관의 폭두께비의 변화에 따라 중공 강관에 대해 콘크리트 충전 강관의 변형능력을 대

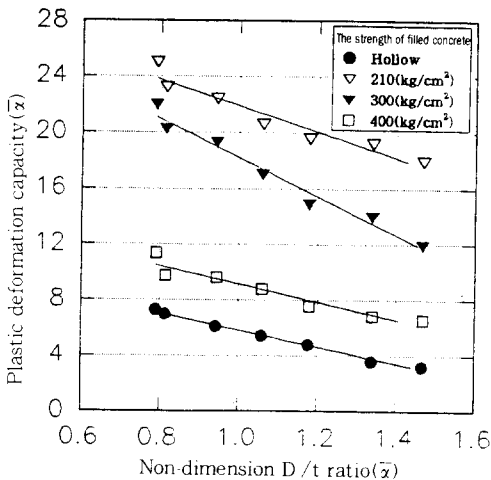


Fig.7 The plastic deformation capacity according to strength of concrete

비시켜 나타낸 것이다. 소성변형 능력의 평가에 있어서 소성변형능력은 국부 좌굴에 의해 정해지는 최대내력시의 변형도 ϵ_{max} 을 항복내력시의 변형도 ϵ_y 로 나눈 값을 소성변형율 $\bar{\epsilon}$ 로 정의하여 중공강관의 변형능력에 대비시켜 각각의 강도별에 있어서 폭두께비의 변화에 따른 소성변형능력을 고찰 하였다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 강관내에 콘크리트를 충전함으로써 대체적으로 중공강관에 비해 소성변형능력은 매우 크게 발휘되고 있으며 중공강관의 경우보다 1.5~3.0배 정도의 범위까지 증가하였다.

변형능력의 증가 양상을 보면 대체적으로 콘크리트의 강도가 낮을수록 강관의 폭두께비가 적을수록 그 증가양상은 크게 나타났다.

한편, 콘크리트의 소재 실험에 의한 최대내력시의 변형율을 콘크리트 충전강관에 대비시켜 고찰해 보면 횡방향 구속이 없는 콘크리트의 경우 최대내력시의 변형율이 0.26~0.35% 정도로 나타났지만 원형강관으로서 콘크리트를 구속한 경우 최대내력시의 변형율이 대체적으로 1~2% 정도로 나타났다. 따라서 원형강관으로 콘크리트를 구속할 경우 변형능력이 4~7배 정도 증가시킴으로써 콘크리트의 연성효과를 높일수 있는 것으로 나타났다.

(2) 변형능력 평가식의 제안

본 절에서는 충전 콘크리트의 강도변화에 따른 강관의 폭두께비를 파라미터로 하여 콘크리트 충전 강관단주의 소성변형능력을 산정할 수 있는 실험식을 제안한다.

$$\bar{\epsilon} = -9.287\bar{x} + 31.184 \quad (R=0.970)$$

(콘크리트강도 : 210kg/cm²)

$$\bar{\epsilon} = -13.834\bar{x} + 32.035 \quad (R=0.970)$$

(콘크리트강도 : 300kg/cm²)

$$\bar{\epsilon} = -6.477\bar{x} + 15.654 \quad (R=0.957)$$

(콘크리트강도 : 400kg/cm²)

그림 8은 콘크리트 충전 강관주의 소성변형능력에 대해 최소자승법에 의해 본 연구에서 제안하는 실험식을 사용하여 회귀한 결과와 실험결과를 대비시켜 나타낸 것이다.

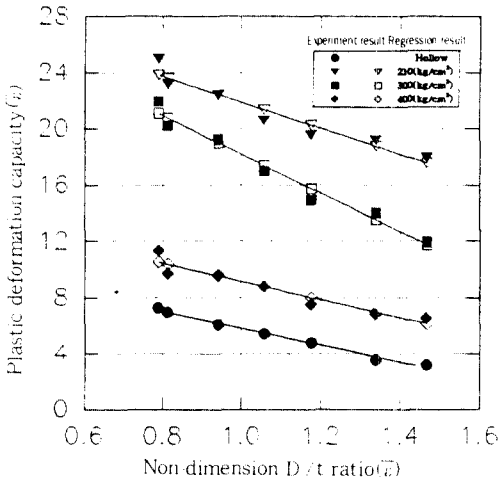


Fig.8 The comparison of the results of experiment/ regression for plastic deformation capacity

그림에서 알 수 있는 바와 같이 대체적으로 실험결과와 회귀결과는 양호한 근사를 주고 있으며, 또한 본 연구에서 제안하는 실험식을 사용하여 회귀한 결과 현행의 제규준(AISC, 일본강구조학회, 기타)에서 제시하고 있는 최소 소성변형능력 3을 발휘하기 위한 폭두께비 제한치를 강관내에 콘크리트를 충전 시킴으로서 충전 콘크리트의 강도 변화에(210→300→400) 따라 각각의 강도별로 2.1→1.4→1.3배 정도 순으로 완화 시킬수 있을 것으로 사료된다.

5.3 최대내력의 평가

본 절에서는 콘크리트 충전 강관 단주의 실험결과를 토대로 하여 각각의 항목별로 충전강관 단주에 대비시켜 최대내력에 대해 고찰한다.

(1) 폭두께비의 변화에 따른 최대내력의 비교

그림 9는 강관의 폭두께비의 변화에 따른 각각의 충전 콘크리트의 강도별로 중공강관과 횡방향 구속이 없는 콘크리트에 대비시켜 충전 강관의 최대내력을 나타낸 것이다.

먼저 폭두께비의 변화에 따른 중공강관 단주에 대한 콘크리트 충전 강관주의 최대 내력($P_{max}/s P_{max}$)비를 살펴보면 콘크리트를 충전함으로써 중공강관에 비해 최대 내력을 약 1.35~2.14배 정도

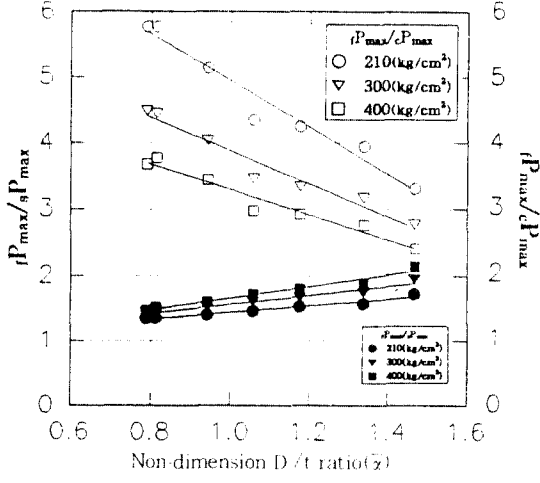


Fig.9 The relationship of Non-dimension D/ t ratio-Ultimate strength

까지 상승 시킬수 있을 것으로 기대되며 그 증가 양상은 강관의 폭두께비와 충전 콘크리트의 강도가 높을수록 최대내력 상승율은 높게 나타났다. 한편 좌굴실험 결과로부터 충전 강관단주에 대한 횡방향 구속이 없는 콘크리트의 최대내력비($s P_{max} / c P_{max}$)를 살펴보면 폭두께비와 콘크리트의 강도가 증가할수록 그 비율은 감소하고 있으며 대체적으로 그 비율은 2.76~5.77배 정도 높게 나타남을 알 수 있다. 이와 같은 사실로부터 강관과 콘크리트를 조합한 충전강관 기둥을 기둥부재로 사용할 경우 좌굴내력 면에서 아주 우수할 것으로 판단되며 콘크리트와 강관에 대한 충전강관의 최대내력 증가율이 서로 반비례 관계에 있는 것으로 보아 부재 설계시 최적의 충전 콘크리트강도와 강관의 폭두께비를 고려할 경우 좌굴내력 산정에 있어서 유리할 것으로 사료된다.

(2) 단순누가 강도와와의 비교

그림 10은 충전강관 기둥에 대한 실험결과와 단순누가식으로 계산한 결과를 콘크리트 강도별로 대비시켜 나타낸 것이다. 최대내력의 평가에 있어서 단순누가 내력은 콘크리트의 최대내력($P_c = A_c \cdot F_c$)과 강관의 항복내력($s P_y = A_s \cdot \sigma_y$)의 누가 강도를 P_0 로 정의하였다.

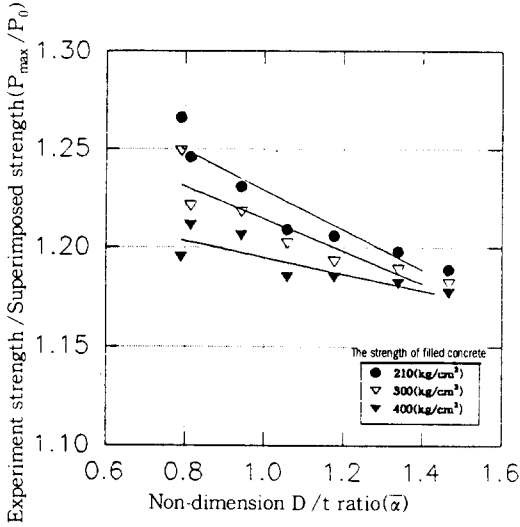


Fig.10 The comparison of ultimate strength by experiment results and superimposed strength

그림에서 알 수 있는 바와 같이 대체적으로 폭 두께비가 적을수록 콘크리트의 강도가 낮을수록 실험내력/누가내력의 비는 높게 나타났으며 그 값은 1.18~1.27 정도로 나타났다. 따라서 콘크리트 충전강관주의 최대내력 산정에 있어서 대체적으로 실험결과는 누가강도값 이상의 값을 나타내고 있으므로 단순누가 내력식으로 최대내력을 산정하기에는 무리가 있다고 할 수 있으며 충전 강관기둥의 최대내력을 산정할 수 있는 적절한 식이 필요한 것으로 생각된다.

5.4 3축응력 상태의 콘크리트 및 충전강관 기둥의 최대내력 평가식의 제안

콘크리트 충전 강관 기둥의 구속효과는 탄성영역과 소성영역으로 나누어 생각해 볼 수 있는데 강관과 충전콘크리트의 상호작용에 의해 그 거동은 두 이질재료의 포아송비의 차이에서 발생한다고 할 수 있다.

먼저 강관과 콘크리트가 탄성 상태인 경우 강관의 포아송비가 0.3, 충전된 콘크리트의 포아송비는 0.15~0.25 이므로 충전된 콘크리트는 강관에 의한 구속효과는 없는 것으로 생각할 수 있다. 반면 강관이 축압력에 의해 항복된 후 충전 콘크리트에 응력이 증가하여 비탄성역하에 있는 경우 충

전된 콘크리트의 포아송비는 0.3~0.8까지 증가하여 충전 콘크리트 외측으로의 횡변형이 강관의 횡변형보다 크게 된다. 그러므로 충전 콘크리트는 강관 내측면의 구속력을 받게 되어 충전된 콘크리트는 3축 응력 상태가 되며 강관은 2축 응력 상태로 된다. 따라서 본 연구에서는 3축 압축 상태인 충전된 콘크리트의 강도 평가식과 이를 토대로 하여 충전강관 기둥의 최대내력을 산정할 수 있는 실험식을 제안하고자 한다.

(1) 콘크리트 강도 평가식의 제안

콘크리트 충전 강관 기둥에 있어서 충전 콘크리트가 강관에 의해 구속되어 있는 경우 구속된 콘크리트는 횡방향으로 구속력을 받게 되어 콘크리트의 팽창이 억제됨으로서 콘크리트는 3축 응력 상태로 된다.

따라서 구속된 콘크리트의 최대 압축응력도 (cP_u)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$cP_u = P_c + CP_2 \quad (1)$$

여기서 : P_c → 콘크리트 실린더 강도

C → 구속계수 P_2 → 구속응력

(1)식에서 P_2 의 값은 강관의 원주방향응력($s\sigma_\theta$)에 의해서 다음의 (2)식과 같이 구할 수 있다.

$$P_2 = t / D_s \sigma_\theta \quad (2)$$

여기서 : t → 강관의 두께 D → 강관의 외경

한편, (1) 식에서 나타내고 있는 콘크리트의 구속계수는 1928년 Richart에 의해서 4.1로 제시된 이래 여러 연구자들에 의해 다양한 값이 제시되고 있으며 그 값은 대체적으로 2.45~6.0 정도의 범위로 보고되고 있다. 하지만 위의 식을 사용할 경우 충전 콘크리트의 강도에 따라 구속계수에 변동성이 있기 때문에 문제가 있을 것으로 사료된다. 또한 원주방향의 응력을 구하는데 복잡한 계산을 필요로 하기 때문에 본 연구에 있어서는 강관의 항복응력시의 포아송비에 의해 원주방향의 응력을 구하고 충전 콘크리트의 강도변화에 따른 구속계수

를 이용 최소 자승법에 의해 구속된 콘크리트의 강도를 예측하기 위한 식을 아래와 같이 제시한다.

$${}_cP_u = 0.464P_c + 1.965\bar{\alpha} \nu_{sy} \cdot 4.325$$

여기서 : $P_c \rightarrow$ 콘크리트 실린더 강도

$\bar{\alpha} \rightarrow$ 무차원 폭두께비

$\nu_{sy} \rightarrow$ 강관의 항복응력시 포아송비

$P_{sy} \rightarrow$ 강관의 항복응력

(2) 콘크리트 충전강관 단주의 최대내력 평가식의 제안

현재까지 제안되고 있는 콘크리트 충전강관 기둥에 대한 축압축 내력 평가식은 콘크리트에 가해지는 축압의 계산 등과 같은 복잡한 계산을 요한다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트 충전 강관 기둥에 대한 좌굴내력을 평가하는 방법으로서 콘크리트 강도의 구속계수를 이용하여 콘크리트의 최대내력을 구하여 강관의 항복내력과의 누가강도로서 전체의 내력을 구할수 있는 간단한 근사식을 아래와 같이 제안하고자 한다.

$$P_{max} = {}_cP_u + P_{sy} \quad (R=0.960)$$

여기서 : ${}_cP_u$: 구속콘크리트의 강도

P_{sy} : 강관의 항복응력

Table 6 The comparison of experimental results and calculated results of ultimate strength of concrete filled steel tube

D/t	P_m			Pe/Pa					
	210	300	400	210	300	400			
18.91	33.62	33.85	35.90	34.86	36.71	35.77	0.993	1.030	1.026
19.08	53.53	53.10	56.72	54.71	60.04	56.16	1.008	1.037	1.069
27.84	55.57	58.66	60.03	60.94	65.65	62.98	0.947	0.985	1.042
22.28	66.10	66.30	71.34	68.55	75.82	70.55	0.997	1.041	1.075
35.71	72.69	76.40	82.03	80.21	90.33	83.63	0.952	1.023	1.080
25.40	92.89	92.78	102.0	96.52	109.1	99.85	1.001	1.057	1.093
31.07	128.1	133.0	141.6	138.6	153.7	143.7	0.963	1.021	1.070

Where : D/t \rightarrow 폭두께비 $P_m \rightarrow$ Ultimate strength in each strength of concrete $P_c \rightarrow$ Experiment result $P_a \rightarrow$ Calculation result

본 연구에서 제안한 실험식을 사용하여 최대내력을 평가한 결과와 실험결과를 비교해 보면 표 6에서 알 수 있는 바와 같이 폭두께비의 변화에 따라 약간씩의 차이는 있지만 대체적으로 양호한 근사를 나타내고 있다고 할 수 있다.

6. 결 론

본 연구는 원형강관으로 구속된 내부 콘크리트의 구조적 거동 특성에 관한 고찰로서 일련의 실험을 통한 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 강관에 의한 콘크리트의 구속효과는 강관의 폭두께비와 충전 콘크리트의 강도가 낮을수록 현저함을 알 수 있었다.

(2) 원형강관으로 구속된 내부 콘크리트는 최대내력시의 변형능력에 있어서 횡방향 구속이 없는 콘크리트보다 4~7배 정도까지 증대함으로서 변형능력에 있어서 우수함이 입증되었다.

(3) 원형강관으로 콘크리트를 구속함으로서 콘크리트 압축강도를 2.76~5.77배까지 증가 시킬수 있었다.

(4) 중공강관에 대한 콘크리트 충전강관 기둥의 최대내력비는 1.35~2.14배까지 증가하였으며 이러한 증가양상은 강관의 폭두께비와 충전 콘크리트의 강도가 증가할수록 높게 나타났다.

(5) 콘크리트의 구속계수를 이용하여 강관으로 구속된 내부 콘크리트의 강도를 평가할 수 있는 식을 제시하였다.

(6) 단순누가 내력으로서 충전콘크리트 기둥의 최대내력을 산정하기에는 무리가 따르며 적절한 내력평가식이 필요하다. 본 연구에서는 충전 강관주의 최대내력을 산정하기 위해 다음과 같은 식을 제시한다.

$$P_{max} = {}_cP_u + P_{sy}$$

추후 본 연구에 이어서 충전 콘크리트의 종류(일반, 고강도, 고유동 콘크리트)별에 따른 역학적 거동 특성을 고찰할 예정이다.

참 고 문 헌

1. Furlong, R.W : Design of steel-encased concrete Beam-Column, ASCE, Vol.94, No ST1, Jan, 1968, pp. 267~281
2. Gardner, N.J & Jacobson, R : Structural Behavior of concrete filled steel tube, ACI, Vol. 65, No 1, Jan, 1968, pp. 66~69
3. Knowles, R.B & Park, R : Strength of concrete filled steel tubular column, ASCE, Vol. 95, No ST 12, Dec, 1969, pp. 2565~2587
4. K.S.Virdi & P.J.Dowling : Bond strength in concrete filled steel tubes, IABSE, No 33 /80, Mar, pp.125~139
5. N.J.Gardner & R.Jacobson : Structural behavior of concrete filled steel tube, ACI, 1967, July, pp. 404~412
6. Karsan, I.D & Jirsa, J.O : Behavior of concrete under compressive loading, ASCE, ST 12, Dec, 1969, pp. 2543~2563
7. Fafitis, A & Shah, S.P : Predictions of ultimate behavior of Confined column subjected to large deformations, ACI, No 82-35, July, 1985, pp. 423~433
8. Lloyd,C.P.Yam, "Design of Composite Steel-Concrete Structure", Surrey University Press, 1988
9. 林 信之 外 3人 : 高強度材料を用いたコンクリート充てん角形鋼管柱の軸壓縮性狀, コンクリート工學年次報告集, Vol. 15, No. 2, 1993. pp. 977~982
10. 共上哲郎 外 2人 : 콘크리트 충전角形鋼管部材における鋼管とコンクリートコアの共動效果, 콘크리트工學論文, No 79. 9-2, pp. 10~18
11. 松井千秋 外1人 : 콘크리트 충전 콘크리트의效果と考慮した角形鋼管의幅厚比制限について, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1981.10, pp. 2125~2126
12. 崎野建治 外1人 : 콘크리트 충전角形鋼管柱의終局強度に關する研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1981.9, pp. 2127~2128
13. 松谷 輝雄 外7人 : 콘크리트 충전鋼管柱의超 高層建物への利用についての實驗的研究(その1 研究方針および基礎實驗計劃, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1987.10, pp. 1263~1264
14. 計 良 光一郎 外2人 : 콘크리트 충전鋼管柱의荷重傳達に關する研究(その1 : 鉛直荷重の傳達), 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1987.10, pp. 1287~1288
15. 伊藤 澈 外5人 : アンボンド型 충전鋼管 콘크리트構造に關する研究(その1 : 原理, 構成及び實驗計劃), 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1986.8, pp. 1417~1418
16. 下戸芳實 外5人 : アンボンド型 충전鋼管 콘크리트構造に關する研究(その2: ボンド型と比較した中心壓縮實驗), 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1986.8, pp. 1419~1420
17. 中島秀雄 外5人 : アンボンド型 충전鋼管 콘크리트構造に關する研究(その3 : 諸條件に關する中心壓縮實驗), 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1986.8, pp. 1421~1422
18. 遠藤 創 外3人 : 콘크리트 충전鋼管短柱의軸壓縮耐力特性と耐力評價法, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1994.9, pp. 1561~1562
19. 吉富 雄紀 外2人 : 콘크리트를充てんした角形鋼管의應力-ひずみ關係に關する實驗的研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1994.9, pp. 1573~1574
20. 김 동규 외 2인 : 콘크리트 충전 각형 강관의 국부 좌굴 보강 효과 및 폭주계비 제한에 관한 실험적 연구, 대한 건축학회 학술 발표 논문집, 제 6권 제 1호, 1986.4, pp. 389~392
21. 김 규석 외 2인 : 충전 콘크리트 강관 Stub Column 구조특성에 관한 연구, 대한 건축학회 학술 발표 논문집, 제 13권 제 2호, 1993. 10, pp. 537~542
22. 김 동규, 문 태섭, 김 규석 외 6인 : 충전 콘크리트 원형강관주의 콘크리트 강도에 따른 좌굴내력에 관한 실험적 연구, 한국강구조학회 논문집, 제 5권 제 4호, 1993.12, pp. 177~185
23. 문 태섭 외 4인 : 충전 콘크리트 원형강관주의 좌굴내력에 관한 실험적 연구, 대한 건축학회 학술 발표 논문집, 제 13권 제 2호, 1993. 10, pp. 543~548
24. 신 도시 Housing 연구개발 협의회 몸체구조부회, 충전형 강관 콘크리트, 건축기술정보, 1990.9, pp. 97~103
25. 山内泰之, 혼합 구조의 전개와 현황, 건축기술정보, 1990.9, pp. 56~58

(접수일자 : 1995. 4. 14)