

대형 콘크리트 판넬구조 수평접합부의 지지력 성능에 관한 연구

Compressive Strength of Horizontal Joints in Precast Concrete Large Panel System

서수연*

정봉오**

이원호***

이리형****

Seo, Soo Yeon Jeong, Bong Oh Yi, Waon Ho Lee, Li Hyung

요 약

대형 콘크리트 판넬구조 수평접합부는 상부로부터 전달되는 축하중에 대하여 저항하게 되며 이때의 저항내력은 그라우트와 판넬의 강도, 접합부의 형태 및 단부 모멘트, 그라우트의 폭 등에 따라 변하게 된다. 본 연구는 폐쇄형 수평접합부에 대한 실험연구로서 슬래브의 단부형태, 벽판넬의 단부보강 및 슬래브의 횡변위 구속에 따른 내력의 변화를 관찰하고자 하였다. 현재 대형 콘크리트 판넬구조 수평접합부의 설계에 적용되고 있는 국내 규준식은 국내의 대형 콘크리트 판넬구조와는 다소 다른 형태의 실험 결과에 의해 유도된 식으로서 그 적용성에 대한 평가가 요망된다. 따라서 본 연구에서는 실험결과를 근거로 이에 대한 평가를 실시할 뿐만 아니라 폐쇄형 수평접합부의 내력을 평가할 수 있는 적합한 이론식을 제시하였다.

실험결과, 상부 벽판넬의 단면이 결손(10mm)됨에 따라 약 23.5% 내력이 저감되는 것으로 나타났으며, 슬래브 단부형태에 따른 차이와 벽판넬의 단부보강에 따른 내력의 차이, 슬래브의 횡변위 구속 유무에 따른 내력의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 또한, 제안된 이론식과 실험결과를 비교한 결과 이론식에 의한 결과가 실험결과와 좋은 대응을 보이는 것으로 나타났다.

Abstract

The compressive strength of horizontal joints in precast concrete large panel structures depends on parameters such as grout and panel strength, detail of joint, joint moment, width of grout column, and etc. 44 specimens were tested to investigate the effects of parameters that influence the compressive strength of horizontal joints. The design formula specified in Korean Code for compression horizontal joints must be reviewed, because it was based on the test results of the joint types not used in Korea. In this study comparing the test results, therefore, the validity of the design formulas was evaluated and a suitable formula was proposed to predict the ultimate strengths of compression horizontal joints.

The increase of ultimate strengths was not observed, even if confined the horizontal displacement of slabs and reinforced the wall edge, when the grout strength is lower than panel strength.

From the comparison of test results and those by the proposed formula, it was shown that proposed formula was suitable to predict the ultimate compressive strength of horizontal joints.

Keywords : compressive strength, horizontal joint, grout and panel strength, detail of joint, width of grout column, design formula

* 정희원, 한양대학교 건축공학과 박사과정

** 정희원, 한양대학교 건축공학과 석사과정

*** 정희원, 광운대학교 건축공학과 조교수 공박

**** 정희원, 한양대학교 건축공학과 교수 공박

• 본 논문에 대한 토의를 1994년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 1994년 8월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

대형 콘크리트 판넬구조 수평접합부의 기본적인 거동은 상부로 부터 전해져 내려오는 축하중에 대하여 저항하는 것이다. 이러한 축하중은 그라우트와 슬래브를 통하여 하부벽으로 전달되지만 슬래브의 지지상태 또는 그라우트의 강도, 벽판넬의 강도, 단부의 모멘트 등에 따라 그 전달상태가 달라지기 때문에 실제 구조설계에서 이를 반영하기 위해서는 이에 관한 이해가 요망된다. 특히 대형 콘크리트 판넬구조 수평접합부에 대한 국내 기준식⁽¹⁾은 그 식의 근거가 현재 국내에서 사용하고 있는 시스템과는 다르기 때문에 이에 대한 명확한 평가가 요망되는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 폐쇄형 접합인 수평접합부에서의 하중 전달 경로의 이해와 저항능력을 파악하며, 특히 슬래브의 형태, 슬래브의 횡변위 구속에 의한 영향, 벽판넬의 단부보강과 결손에 의한 영향을 파악하기 위하여 총 44개의 시험체를 제작하여 실험을 실시한 후, 그 결과를 국내 기준 및 기타 제안식과 비교, 검토하여 적합한 이론식을 제시하고자 한다.

2. 실험

2.1 시험체 계획

본 연구는 수평접합부의 지지력 성능을 평가하기 위한 연구로서, 시험체 계획은 그라우트 폭, 그라우트 강도, 슬래브 단부의 형태, 외부접합부에 단열재를 설치하기 위한 단면의 결손 유무, 슬래브 단부의 횡방향구속 효과, 상 하 벽판넬의 횡보강과 같은 변수를 고려하여 계획한다.

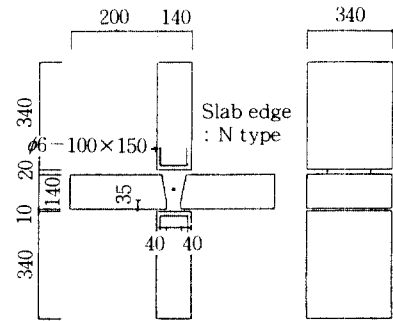
시험체는 내부접합부 14개, 외부접합부 30개의 총 44개 시험체로서, 상세한 시험체 일람은 Table 1과 같다. 시험체의 규격은 실험실 조건을 고려하여 높이 85cm, 길이 34cm, 폭 34cm, 벽두께는 14cm로 계획한다. 벽판넬의 단부를 횡보강한 경우에는, 그라우트 폭 6cm, 8cm 를 사용하여 벽판넬의 활열시험을 한 결과 가장 유효한 보강근비로 보고된 0.175% ($\phi 6-100 \times 150$)를 적용한다⁽²⁾. 시험체의 형상은 Fig. 1과 같다.

Table 1 Test specimen properties

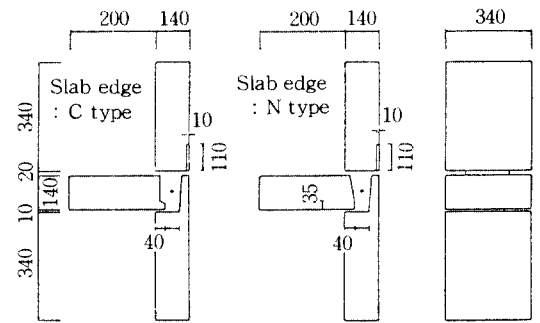
Specimen	Slab Type	t_c (mm)	f_g (kg/cm ²)	Wall Section	No. of Specimen
Interior joint	IN6AO	N	60	No Loss	3
	IN60	N	60	No Loss	5
	IN60C*1	N	60	No Loss	3
	IN60S*2	N	60	No Loss	3
Exterior joint	EC6AR	C	60	Loss	3
	EC6BR	C	60	Loss	3
	EC3BR	C	30	Loss	3
	EC6BO	C	60	No Loss	3
	EN5AR	N	50	Loss	3
	EN6AR	N	60	Loss	3
	EN6AO	N	60	No Loss	3
	EN3R	N	30	Loss	3
	EN3RC*1	N	30	Loss	3
EN3RS*2	N	30	Loss	3	

*1 Specimens with edge reinforcement

*2 Specimens that horizontal displacements are confined



(a) Interior joint



(b) Exterior joint

Fig. 1 Test specimens

2.1 시험체의 제작

시험체의 PC판(벽판 및 슬래브판)은 PC공장에서 제작한 후 증기양생 하였으며 구조실험실로

이동한 후 조립하여 대기양생 하였다. 시험체의 조립은 하부 벽판을 세워 고정시킨 후 패드 모르터를 1cm 두께로 깔고, 슬래브를 설치하였으며 하부 벽판과 양 슬래브 사이의 접합부에 콘크리트를 타설한 후 상부 패드 모르터를 2cm 두께로 깔고 상부벽을 설치하였다. 시험체의 충격과 흔들림에 의한 균열을 막기 위하여 L형강을 #자형으로 고정시켜 안정을 유지하였다.

2.3 재료성질

시험체 제작에 사용된 벽판넬의 콘크리트, 그라우트 콘크리트와 모르터의 재료시험결과는 Table 2에 나타낸 바와 같다. 시험체의 벽판넬 단부 보강에 사용된 용접철망의 인장강도는 5650 kg/cm^2 으로 나타났으며 탄성계수는 $2.14 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 으로 나타났다.

2.4 실험방법

본 실험은 200t 용량의 오일잭과 Data Logger (TDS-601) 측정장치를 사용하였다. 시험체의 설치는 Fig. 2와 같으며 슬래브의 변위를 구속할 경

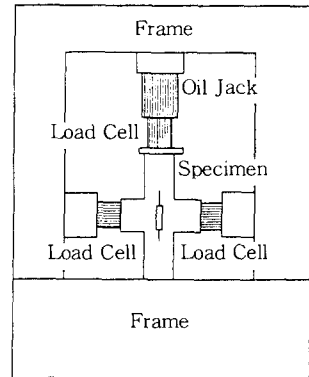
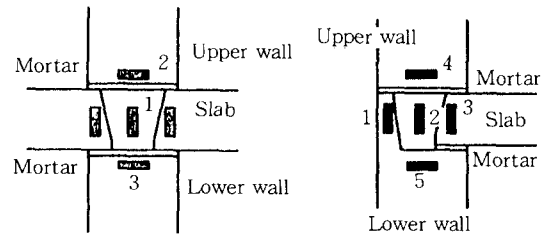


Fig. 2 Test setup



■ : Strain gage

(a) Interior joint

(b) Exterior joint

Fig. 3 Positions of strain gages

Table 2(a) Test results (Interior joint)

Specimen Name	t_g (cm)	Compressive strength (kg/cm^2)					f_w f_g	Test Result (t)	Failure Pattern	K Eq.(5)
		Upper mortar	Grout Concrete	Lower mortar	Upper wall	Lower wall				
IN6AO-1	6	187	290	258	372	372	1.28	90	Lw	0.82
IN6AO-2	6	187	290	258	372	372	1.28	80	Lw	0.82
IN6AO-3	6	187	290	258	372	372	1.28	76	Lw	0.82
IN60-1	6	313	205	342	277	277	1.35	33	G	0.80
IN60-2	6	313	205	342	275	275	1.34	57	G+Lw	0.80
IN60-3	6	313	205	342	300	300	1.46	50	G+Lw	0.76
IN60-4	6	253	205	253	313	313	1.53	89	G+Uw+Lw	0.73
IN60-5	6	397	205	397	313	313	1.53	91	Uw	0.73
IN60C-1	6	313	205	342	275	275	1.34	48	G+Lw	0.80
IN60C-2	6	313	205	342	291	291	1.42	45	G+Uw	0.77
IN60C-3	6	313	205	342	300	300	1.46	57	G+Lw	0.76
IN60S-1	6	313	205	342	277	277	1.35	38	G	0.80
IN60S-2	6	313	205	342	300	300	1.46	53	Lw	0.76
IN60S-2	6	313	205	342	291	291	1.42	75	G	0.77

* Uw : Upper wall splitting failure

G : Grout compressive failure

Lw : Lower wall splitting failure

Table 2(b) Test results (Exterior joint)

Specimen Name	t_G (cm)	Compressive strength (kg/cm^2)					f_G	Test Result (t)	Failure Pattern	K Eq.(5)
		Upper mortar	Grout Concrete	Lower mortar	Upper wall	Lower wall				
EN3R-1	3	313	205	342	277	277	1.35	46	Lw	0.37
EN3R-2	3	313	205	342	313	313	1.53	59	Lw	0.34
EN3R-3	3	313	205	342	300	300	1.46	66	G	0.35
EN3RC-1	3	313	205	342	300	300	1.35	47	G+Uw	0.35
EN3RC-2	3	313	205	342	300	300	1.35	46	G	0.35
EN3RC-3	3	313	205	342	275	275	1.34	44	G	0.38
EN3RS-1	3	313	205	342	277	277	1.35	31	G+Uw	0.37
EN3RS-2	3	313	205	342	313	313	1.35	62	Uw+Lw	0.34
EN3RS-3	3	313	205	342	300	300	1.46	66	G	0.35
EC6AR-1	6	187	290	258	325	328	1.12	70	Lw	0.89
EC6AR-2	6	187	290	258	309	309	1.07	45	G+Lw	0.92
EC6AR-3	6	187	290	258	372	372	1.28	48	Lw	0.82
EC6BR-1	6	426	334	258	286	286	0.86	80	Lw	1.00
EC6BR-2	6	187	290	258	372	372	1.28	75	Lw	0.82
EC6BR-3	6	187	290	258	372	286	1.28	68	Lw	0.96
EC3BR-1	3	187	290	292	446	446	1.54	59	Uw	0.34
EC3BR-2	3	258	334	258	309	309	0.93	97	Uw+Lw	0.51
EC3BR-3	3	258	334	258	372	372	1.11	69	G+Lw	0.44
EC6BO-1	6	426	334	292	309	309	0.93	104	Lw	1.00
EC6BO-2	6	187	290	292	309	372	1.07	72	Lw	0.82
EC6BO-3	6	426	334	292	286	325	0.86	100	G+Lw	0.97
EN5AR-1	5	426	334	258	286	286	0.86	55	Uw	0.88
EN5AR-2	5	426	334	258	309	309	0.93	67	Uw	0.84
EN5AR-3	5	258	334	258	323	446	0.97	63	Uw	0.66
EN6AR-1	6	187	295	258	388	328	1.32	50	G+Uw	0.90
EN6AR-2	6	426	334	258	388	388	1.16	83	Lw	0.87
EN6AR-3	6	426	334	258	446	446	1.34	81	Lw	0.80
EN6AO-1	6	187	295	258	446	446	1.51	64	Lw	0.74
EN6AO-2	6	258	334	258	446	328	1.34	105	Lw	0.97
EN6AO-3	6	426	334	258	286	328	0.86	87	Lw	0.97

* Uw : Upper wall Splitting failure

G : Grout compressive failure

Lw : Lower wall splitting failure

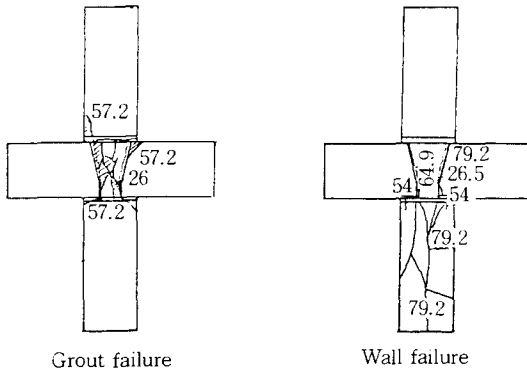
우에는 로드셀을 설치하여 구속력을 측정하였다.

시험체의 측정위치는 상, 하부벽의 활열에 의한 인장변형, 그라우트 콘크리트 부위의 압축변형으로서, 벽판넬의 압축변형은 1/50mm 다이얼 게이지로서 측정하였고, 접합부 그라우트 및 벽판넬의 변형도는 와이어 스토레인 게이지로 측정하였다. 각 측정계기의 부착위치는 Fig. 3과 같다.

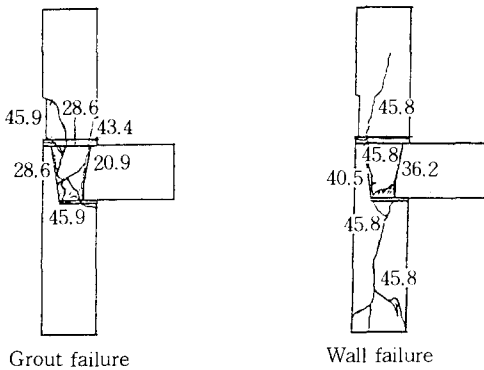
3. 실험결과

3.1 파괴양상

시험체의 전반적인 파괴형태는 그라우트의 압축파괴와 벽판넬의 활열파괴로 나타났으며, 그라우트와 벽판넬의 강도가 높은 경우에는 취성파괴되는 경향을 보였다. 초기균열의 발생은 슬래브와 그라우트의 경계부위에 수직으로 나타났으며, 최종적으로 그라우트의 압축파괴와 더불어 상부 또는 하부벽으로 균열이 확장되며 벽판넬의 활열에 의해 파괴되었다. 각 시험체의 최대내력은 Table 2와 같으며 대표적인 파괴상황은 Fig. 4와 같다.



(a) Interior Joint



(b) Exterior Joint

Fig. 4 Final crack patterns

3.2 변수에 따른 영향

(1) 슬래브 단부형태에 의한 영향

본 실험연구에서는 외부접합부 실험에서 슬래브 단부의 형태를 C형(□)과 N형(□)으로 제작하여 비교하고자 하였다. 각 시험체의 슬래브 단부 형태에 따른 내력변화를 나타낸 Fig. 5로부터, 단면결손이 있는 경우에는 C형이 73t, N형이 71t로서 내력의 차이가 없는 것으로 나타났으나, 단면결손이 없는 경우에는 C형이 92t, N형이 85t로서 C형이 다소 높은 것으로 나타났다. 그러나 이러한 차이는 벽판넬과 그라우트의 강도가 조금씩 다름에 의한 차이로 평가되며, 슬래브 단부형태에 따른 차이는 미소한 것으로 판단된다.

(2) 벽판넬의 결손 유무

Fig. 6은 외부 접합부에서 상부벽의 단면결손(단부 폭을 10 mm 줄임)에 따른 최대내력의 변화를 나타낸 것으로서, C형이 1.26배, N형이 1.21배

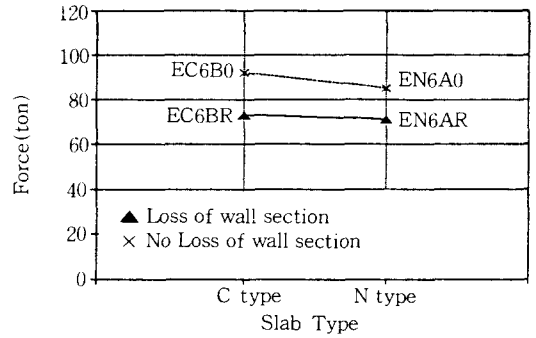


Fig. 5 Pu-Slab edge type curve

로 단면결손이 없는 경우가 높은 내력을 보였으며, 10 mm의 벽판넬 결손에 따른 내력의 저하는 평균 23.5%정도 임을 알 수 있다.

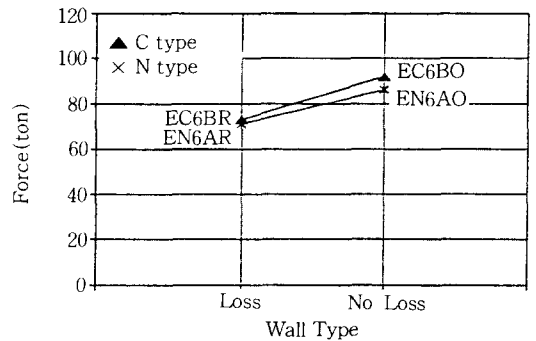


Fig. 6 Pu-Wall type curve

(3) 벽판넬의 단부 횡보강에 의한 영향

그라우트의 강도가 벽판넬의 강도에 비하여 높을 경우, 벽판넬은 할열파괴를 일으키며 최종파괴에 도달하게 된다. 이러한 파괴에 대해서는 벽판넬의 단부를 보강함으로써 파괴를 방지할 뿐만 아니라 내력을 향상시킬 수 있다. Fig. 7은 벽판넬의 단부 보강효과를 비교하여 나타낸 것으로서, 내부 접합부에서는 단부보강한 경우와 단부보강근이 없는 경우가 별다른 차이를 보이지 않고 있으나, 외부 접합부에서는 단부보강근이 없는 경우가 오히려 1.24배 높게 나타났다. 따라서, 벽판넬의 단부 횡보강근은 벽판넬의 할열파괴를 방지할 수 있으나 전체 내력의 증가에는 기여하지 못함을 알 수 있다. 이는 그라우트의 압축파괴로 최대하중이 결정되었기 때문으로 보여지며 본 시험체의 판넬 강도가 그라우트 강도의 1.35배 이상으로 높게 제

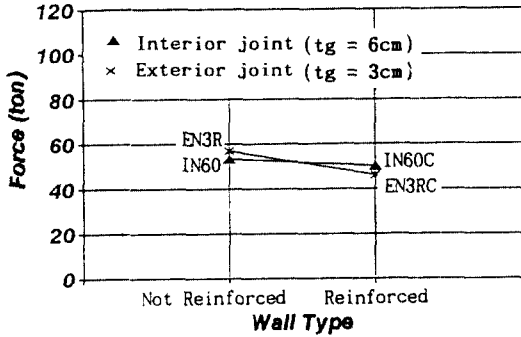


Fig. 7 Effect of edge reinforcement

작되었기 때문에 보여진다.

(4) 슬래브 횡변위 구속에 의한 영향

일반적으로 슬래브의 횡방향 변위를 구속하게 되면 그라우트 콘크리트는 구속에 의한 내력의 상승을 보이게 된다. 본 연구에서는 내부접합부와 외부접합부에서 구속한 경우가 다소 높게 나타났지만 그 차이는 미소하여 전반적으로 구속에 의한 내력의 상승은 거의 없는 것으로 판단된다.

3.3 기존 제안식과의 비교

대형 콘크리트 판넬구조 수평접합부는 그라우트의 압축강도와 벽판넬의 압축강도 및 벽판넬의 단부보강 유무 등에 따라 변하는 것으로 평가되고 있다. 이에 관한 기존 연구자들에 의한 실험식 및 국내 규준식은 Table 3, 그리고 각 제안식과 실험결과를 비교하여 나타내면 Table 4와 같다. 전반적으로 내부, 외부접합부에 대하여 CEB-FIP 규준식과 PCI-1, PCI-3식이 평균적으로 실험결과에 근사한 값을 보이며 표준편차와 분산의 정도도 미소한 것으로 나타났으나, 국내 규준식은 내부접합부에서는 평균 0.97, 외부접합부는 1.81 배로 실험결과가 높게 나타났으며 각 경우의 표준편차와 분산정도도 높게 나타나 실험결과와 다소 차이를 보이는 것으로 나타났다.

4. 이론식의 제안

수평접합부의 일반적인 파괴양상은 그라우트의 강도가 벽판넬의 강도에 비하여 낮은 경우에 나타

Table 3 Previous formulas

Investigator	Formula
Lee, S. W., et al. (2)	$\min. \left[\begin{array}{l} \frac{2.5f_G \cdot t_G \cdot L}{\ln(11.2t_G/t_1+1)} \\ \frac{5.0f_w \cdot t \cdot L}{(1-t_G/t) \ln(11.2t_G/t_1+1)} \end{array} \right]$
PCI-1 (3)	Closed joint $P_U = \phi \cdot f_G \cdot L \cdot t_G \cdot t / t_G + P_{u,conn}$ Open joint $P_U = f_G \cdot L \cdot t_G + P_{u,conn}$ Here, $\phi = 0.7 \sqrt{t/t_G} \leq 2$ (confinement factor) $P_{u,conn} = 0$ (without mechanical conn.)
PCI-3 (4)	$P_U = t \cdot L \cdot f_G (0.2 + 0.75 t_G/t)$
Larsen & Nielson (5)	Compressive failure of grout $P_U = t_G \cdot L \cdot f_G$ Spilting failure of wall $P_U = 0.2f_w \cdot L \cdot t / (1-t_G/t)$
Kim, S. S., et al. (6)	Interior joint $P_U = t_G \cdot L \cdot f_w / K$ Exterior Joint $P_U = f_w \cdot L \cdot t^2 / (t+6e)$ Here, $e = t_G - t(1-K) / 2$ $K = 0.617 \ln(4.062t_G/t + 1)$
CEB-FIP (7)	$R_j = \eta_i \cdot A_w \cdot f_w \frac{1}{\gamma_d \gamma_{Ri}}$ $\eta_i = \text{factor of joint type}$ $\gamma_d \cdot \gamma_{Ri} = \text{factor of brittle failure}$

나는 그라우트에서의 압축파괴와 그라우트의 강도가 벽판넬에 비하여 높을 경우에 나타나는 벽판넬의 활열파괴로 구분할 수 있다. 따라서 2가지 경우를 고려할 경우에 그 내력의 평가가 비교적 정확하게 이루어질 수 있다.

국내에서 적용하고 있는 규준식은 그 식의 근거가 Johal과 Hanson의 실험결과(9)를 근거로 한 것으로서, 그라우트의 압축파괴를 기본으로 한 식이며, 벽판넬의 활열파괴는 고려하지 않고 있다. 그리고 하중전달계수를 그라우트의 압축강도만으로 고려하여 기타 요인에 의한 영향을 고려하지 못하고 있을 뿐만 아니라 슬래브의 형태가 Hollow Core인 경우를 대상으로 하였기 때문에 일반적으로 Solid Slab를 사용하는 국내의 대형 콘크리트 판넬구조 수평접합부의 설계식으로 적용하기에는 많은 문제점을 내포하고 있다.

수평접합부의 2가지 파괴메카니즘과 연직하중

Table 4(a) Estimation of previous formula (Interior joint)

Specimen Name	Test result (t)	Test result /Formula					
		CEB-FIP	LN	Lee	PCI-1	PCI-3	KCI
HPU*	135.0	2.01	3.00	2.11	1.60	1.47	2.16
HPUR	99.8	1.49	2.22	1.56	1.19	1.09	1.60
HPUE1-A	97.4	1.45	2.17	1.52	1.16	1.06	1.56
HPUE1-B	69.2	1.03	1.54	1.08	0.82	0.75	1.11
HPUE2-A	83.0	1.24	1.85	1.30	0.99	0.90	1.33
HPUE2-B	104.0	1.35	2.31	1.63	1.24	1.13	1.33
IN6A0-1	89.7	0.97	1.52	1.07	0.99	1.25	0.95
IN6A0-2	79.2	0.86	1.34	0.94	0.88	1.10	0.84
IN6A0-3	75.8	0.82	1.28	0.90	0.84	1.05	0.80
IN60-1*	33.0	0.48	0.79	0.55	0.52	0.65	0.40
IN60-2	57.0	0.83	1.36	0.96	0.89	1.12	0.69
IN60-3	50.0	0.67	1.20	0.84	0.78	0.98	0.61
IN60-4	89.0	1.14	2.13	1.50	1.39	1.75	1.08
IN60-5	91.0	1.17	2.18	1.53	1.42	1.79	1.11
IN60C-1	48.0	0.61	1.15	0.81	0.75	0.94	0.58
IN60C-2	45.0	0.54	1.08	0.76	0.70	0.88	0.55
IN60C-3	57.0	0.67	1.36	0.96	0.89	1.12	0.69
IN60S-1*	38.0	0.55	1.44	0.64	0.59	0.75	0.46
IN60S-2	53.0	0.71	1.86	0.89	0.83	1.04	0.65
IN60S-3	75.0	1.04	2.71	1.26	1.17	1.47	0.91
MEAN		0.98	1.72	1.15	1.17	1.14	0.96
STDV.		0.22	0.51	0.28	0.23	0.27	0.23
VAR.		0.47	0.01	0.21	0.03	0.10	0.57

HPU series specimens were tested by Kim, S. S.⁽¹⁰⁾

* Test results of these specimens are excluded to compare the computation results, because of too much variance and poor grouting, respectively.

의 분배를 고려하고 국내의 실험결과를 근거로 한 식은 이성원에 의한 제안식⁽²⁾이지만 이 식은 그라우트로의 하중전달계수를 단순히 그라우트 폭에 의해 변하는 것으로 고려하고 있으며 그라우트 강도에 따라 변하는 하중 전달율은 고려하지 못하고 있을 뿐만 아니라 3.3에서 나타난 바와 같이 실험결과와 많은 오차를 보이고 있어 그 적용에는 다소 문제가 있는 것으로 평가된다.

이에 따라, 그라우트와 슬래브의 강도, 그라우트 폭에 의하여 변하는 하중전달계수를 산정하여 다음과 같은 이론식을 제시하였다.

4.1 이론식의 제안

(1) 내부접합부

1) 하중전달계수의 산정

대형콘크리트 판별 구조의 내부 수평접합부에서 상부벽으로 부터 하부벽으로 전달되는 연직하

중은 Fig.8(a)과 같이 그라우트와 슬래브를 통하여 전달된다. 이에 따라 전체 연직하중은 그라우트와 슬래브로 전달되는 하중의 합으로 나타낼 수 있으며, 그라우트를 통하여 전달되는 연직하중(P_G)은 수평접합부의 전체 하중(P_U)에 전달계수 K 를 고려함으로써 나타낼 수 있다.

이때의 하중전달계수 K 는 다음과 같다.

$$P_U = P_G + 2P_S \quad (1)$$

$$P_G = K P_U \quad (2)$$

$$K = \frac{P_G}{P_U} = \frac{P_G}{P_G + 2P_S} \quad (3)$$

여기서, $P_G = f_G \times t_G \times L$

$$2P_S = f_s \times (t - t_G) \times L$$

실험상수 α 를 고려하여 $K' = \frac{K}{\alpha}$ 라 하고, 식 (3)의 K 를 K' 로 치환하면,

Table 4(b) Estimation of previous formula (Exterior joint)

Specimen Name	Test result (t)	Test result / Formula					
		CEB-FIP	LN	Lee	PCI-1	PCI-3	KCI
EC6AR-1	69.2	1.02	1.27	1.64	0.77	0.96	1.29
EC6AR-2	45.2	0.71	0.88	1.07	0.50	0.63	0.90
EC6AR-3	47.9	0.62	0.81	1.14	0.53	0.67	0.81
EC6BR-1	79.5	1.34	1.67	1.92	0.76	0.96	1.70
EC6BR-2	74.7	0.97	1.26	1.77	0.83	1.04	1.26
EC6BR-3	67.8	1.15	1.42	1.63	0.75	0.94	1.45
EC3BR-1*	58.6	0.63	1.98	1.39	0.92	1.18	1.98
EC3BR-2	97.2	1.52	2.85	2.17	1.32	1.69	3.85
EC3BR-3*	68.5	0.89	2.01	1.41	0.93	1.19	2.26
EC6B0-1	104.1	1.63	2.02	2.32	1.00	1.26	2.06
EC6B0-2	71.9	0.93	1.22	1.71	0.80	1.00	1.22
EC6B0-3	100.4	1.49	1.85	2.13	0.96	1.21	1.89
EN5AR-1*	54.7	0.92	1.29	1.32	0.58	0.74	1.41
EN5AR-2*	67.2	1.05	1.47	1.50	0.71	0.90	1.60
EN5AR-3*	62.8	0.68	1.11	1.30	0.66	0.84	1.11
EN6AR-1	50.2	0.74	0.92	1.17	0.55	0.69	0.94
EN6AR-2	82.6	1.03	1.28	1.70	0.79	1.00	1.30
EN6AR-3	80.5	0.87	1.18	1.66	0.77	0.97	1.18
EN6A0-1	63.6	0.69	1.06	1.49	0.69	0.87	1.06
EN6A0-2	105.1	1.55	1.92	2.21	1.01	1.27	1.96
EN6A0-3	87.1	1.28	1.59	1.83	0.84	1.05	1.63
EN3R-1	46.0	0.80	2.20	1.55	1.02	1.31	1.98
EN3R-2	59.0	0.91	2.82	1.98	1.31	1.68	2.54
EN3R-3	66.0	1.06	3.16	2.22	1.46	1.88	2.85
EN3RC-1	47.0	0.66	2.25	1.58	1.04	1.34	2.03
EN3RC-2	46.0	0.64	2.20	1.55	1.02	1.31	1.98
EN3RC-3	44.0	0.67	2.10	1.48	0.97	1.25	1.90
EN3RS-1*	31.0	0.54	1.48	1.04	0.69	0.88	1.34
EN3RS-2	62.0	0.96	2.97	2.08	1.37	1.76	2.67
EN3RS-3	66.0	1.06	3.16	2.22	1.46	1.88	2.85
MEAN		1.01	1.84	1.76	0.94	1.19	1.77
STDV.		0.31	0.56	0.35	0.21	0.28	0.66
VAR.		0.05	0.45	0.08	0.44	0.45	0.12

* Test results of these specimens are excluded to compare the computation results, because of too much variance and poor grouting, respectively.

$$K = \alpha \frac{1}{\left(\frac{f_s}{f_G}\right)\left\{\left(\frac{t}{t_G}\right) - 1\right\} + 1} \quad (4)$$

우트 면적으로 표현된다.

$$P_U = \phi f_G t_G L \frac{1}{K} (\phi=0.7) \quad (5)$$

여기서, α 는 2.23 이며, $K \leq 1.0$ 임.

2) 그라우트가 압축파괴되는 경우

그라우트의 압축파괴로 최대내력이 결정되는 경우는 그라우트의 압축강도가 벽판넬의 압축강도에 비하여 낮을 경우에 나타나며, 이 때의 최대내력은 식(6)과 같이 그라우트의 압축강도와 그라

3) 하부 벽판넬이 할열파괴되는 경우

하부 벽판넬이 할열파괴되는 경우는 벽판넬의 국부하중에 의한 할열파괴 메카니즘으로 부터 산정할 수 있다. 하중 작용면적 t_G 이며 폭이 t 인 부재에 압축력 P_G 가 작용할 때의 할열하중은 식(6)과 같다⁽⁴⁾.

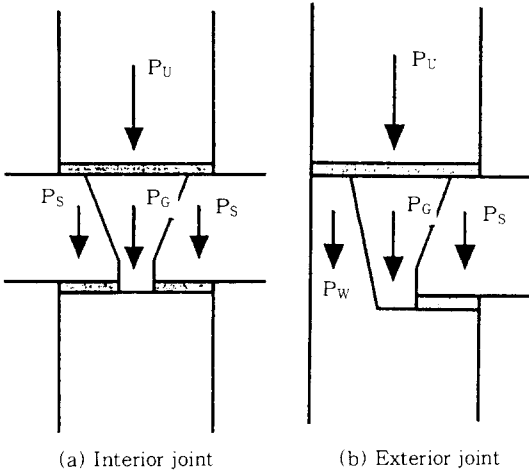


Fig. 8 Load translations in horizontal joints

$$P_t = 0.5 \times P_G (1 - t_G / t) \quad (6)$$

$$P_G = \frac{P_t}{0.5 \times (1 - t_G / t)} \quad (7)$$

여기서, $P_t =$ 활열 인장력으로서 $f_t \times t \times L$ 이며 벽판넬의 인장응력을 압축강도의 10%로 보면 $P_t = 0.1 f_w \times t \times L$ 이 된다.

따라서, 최대내력은 식(8)과 같게 된다.

$$P_U = \phi \frac{f_w \times t \times L}{5(1 - t_G / t)} \frac{1}{K} \quad (8)$$

(2) 외부접합부

외부접합부의 하중전달기구도 내부접합부와 마찬가지로 그라우트와 슬래브, 하부벽에 단열을 위한 턱이 있는 경우에는 그 턱을 통하여 하중이 전달되게 된다. 따라서 그 하중의 전달경로는 Fig. 8(b)와 같이 나타내어 그라우트로 전달되는 하

로부터 하중 전달계수를 고려함으로써 전체 내력을 산정할 수 있다.

이때의 하중전달계수는 다음과 같다.

$$P_U = P_G + P_S + P_W \quad (9)$$

$$P_G = K P_U$$

$$K = \frac{P_G}{P_U} = \frac{P_G}{P_G + P_S + P_W} \quad (10)$$

$$P_G = f_G \times t_G \times L$$

$$P_S = f_S \times (t - t_G - t_Q) \times L$$

$$P_W = f_w \times t_w \times L$$

실험상수 α 를 고려하여 $K' = \frac{K}{\alpha}$ 라 하고, 식 (10)의 K 를 K' 로 치환하면, 내부접합부와 동일한 하중전달계수에 관한 식(4)를 얻을 수 있다.

외부접합부도 내부접합부와 마찬가지로 그라우트의 압축파괴와 벽판넬의 압축파괴중 한가지에 의해 내력이 결정되며 그 내력 산정식은 식(5)와 식(8)로 표현된다. 다만, 하부 벽판넬의 활열과괴일 경우에는 슬래브가 한쪽 방향에만 걸쳐지기 때문에 그라우트를 통한 하중은 하부 벽에 편심으로 작용하게 된다. 편심하중에 의한 벽판넬의 활열하중은 짧은 쪽의 대칭폭인 t' 로 그 산정 폭이 감소하게 되므로⁽⁸⁾ 식(7)의 벽두께 t 는 적용한다.

4.2 제안식의 평가

이상에서 제안된 식과 본 실험결과를 비교하여 제안식의 적합성을 평가하였다. Fig. 9는 그 결과를 비교하여 나타낸 것으로서 제안식에 의한 결과가 실험결과에 비하여 내부 접합부는 평균 1.07배, 외부 접합부는 1.06배로서 거의 일치되는 경향을 보였다. 또한 표준편차와 분산의 정도도 내부 및 외부 접합부 모두 미소한 값으로 나타나 본 제안식이 폐쇄형 수평접합부의 내력산정에 적합함을 알 수 있다.

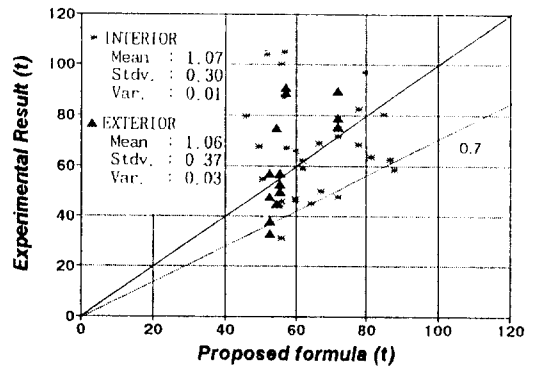


Fig. 9 Estimation of the proposed formula

5. 결 론

이상과 같은 대형 콘크리트 판넬구조 수평접합부(폐쇄형 접합)의 지지력에 관한 실험연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 2가지의 슬래브 단부형태에 대한 내력의 변화를 관찰한 결과 슬래브 단부형태에 따른 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

2. 단열재 설치를 위해 상부벽 판넬의 단부폭을 10mm 줄일 경우에는 내력이 약 23.5% 이상 저하되는 것으로 나타났다.

3. 판넬의 강도가 그라우트의 강도보다 높은 경우에서 벽판넬의 단부 횡보강근은 벽판넬의 활열 파괴 방지에는 다소 효과적이지만 전체내력의 증가에는 기여하지 않는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 그라우트에 응력이 집중되어 그라우트의 압축파괴로 최대내력이 결정되기 때문으로 보여진다.

4. 본 실험결과에 대한 기존 제안식 및 국내 규준식의 적용성을 평가한 결과 CEB-FIP와 PCI-1 및 PCI-3식이 비교적 실험결과를 정확하게 평가하고 있으며, 국내규준식은 외부접합부에 대하여 실험결과를 과소평가하는 것으로 나타났다.

5. 그라우트 폭과 그라우트 강도에 따라 하중의 전달율이 변하는 것으로 고려한 본 제안식은 폐쇄형 수평접합부의 실험결과와 좋은 대응을 보이는 것으로 나타났다.

이상의 본 연구는 삼성건설주식회사의 연구비 지원하에 수행된 연구로서 회사측에 심심한 감사의 뜻을 전합니다.

기 호

ϕ : 안전율 (0.7)

A_w : 판넬의 단면적

f_G : 그라우트의 압축강도 (kg/cm^2)

f_w : 판넬의 압축강도

$f_{t,w}$: 판넬의 인장강도

L : 수평접합부의 길이

P_U : 최대내력

t : 벽판넬의 두께

t' : 그라우트의 중심축과 벽판넬의 중심축이 일

치하지 않을 경우 그라우트를 기준으로 한 짧은방향 대칭폭

t_G : 그라우트 폭

t_S : 슬래브의 물림폭

t_W : 외부접합부인 경우 하부벽 돌출턱의 폭

참 고 문 헌

1. 건설부, "조립식 건축 구조설계 기준 및 표준 시방서 작성에 관한 연구-프리캐스트 콘크리트 조립식 구조설계 기준 및 해설-", 1991.
2. 이성원, 이리형, "대형판구조의 수평접합부 내력에 관한 연구," 대한건축학회 논문집, 제3권 제6호, 1987년 12월, pp.197-208.
3. PCI, "PCI Manual for Structural Design of Architectural Precast Concrete," Prestressed Concrete Institute, Chicaco, Illinois, 1977.
4. PCI, "PCI Design Handbook," Prestressed Concrete Institute, Chicaco, Illinois, 1985.
5. Larsen, and Nielsen, A.H. "Prefab. Design Guidelines," LN News, No.66, Denmark, April, 1979.
6. 김일환, 김성수, 이리형, "대형 콘크리트 판넬구조의 수평접합부 거동에 관한 연구-Wedge Joint의 수직하중에 대한 거동을 중심으로-", 대한건축학회 논문집, 제6권 제5호, 1990년 10월, pp.231-240.
7. Comite-Euro International Du Beton, "Bulletin D'information No.169," Draft Guide for the Design of Precast Wall Connections, April, 1985
8. Fljucer, F., "Design of Precast Concrete Structures," John Wiley & Sons, 1988.
9. 장극관, 이한선, 신영식, 류진호, "프리캐스트 콘크리트 대형판 구조물의 수평접합부 유효강성," 한국콘크리트학회, 학술발표 논문집, 제5권 제2호, 1993년 11월, pp.278-283.
10. Leonhardt, F., "Vorlesungen Uber Massivbau Vol.2," Springer-Verlag, 1978, pp.57-74.
11. Johal, L. S., Hanson, N. W., "Design for Vertical Load on Horizontal Connections in Large Panel Structures," PCI Journal, Vol.27, No.1, Jan. -Feb., pp.62-79.
12. 한양대학교 산업과학연구소, 삼성종합건설(주) 기술연구소, "삼성 대형판 PC 시스템의 구조성능 실험연구", 기연-92019, 1993.1.

(접수일자 : 1994. 1. 25)