

고력볼트 인장접을 갖는 합성상판의 이음구조에 관한 연구 The Study of joint structure of composite slabs with the tensile grip connection

서성탁*
Seung-Tag Seo*

<Abstract>

Recently, steel-concrete composite slab decks have been widely used as highway bridge decks. In the construction of the composite slab decks, it is necessary to join two adjacent blocked bottom plates to form one unite in the longitudinal direction. In this paper, several types of longitudinal direction joints for Robinson type composite slab decks are proposed herein and static bending test are carried out by using slab specimens. And the stress and deformation of the tensile grip connection with high strength bolts are discussed by using three-dimensional elastic-plastic FEM.

Keywords : *steel-concrete composite slab, tensile grip connection, high tension bolt*

1. 서론

기존의 도로교상판에는 철근콘크리트 상판(RC)가 많이 이용되었다. 그러나 1980년대 이후의 경제성장과 함께 교통량의 급증과 현장 노동력의 부족 등의 원인으로 RC상판의 노화, 손상의 문제가 부각되기 시작했다. 뿐만 아니라 최근의 공공사업전반에 있어서 경비절감이 요구되어 상판의 장기간화에 대응해서 RC상판보다 경량으로 높은 강성을 갖고 보다 피로내구성이 우수한 상판의 개발과 그 실용화를 요구받고 있다. 이와 같은 관점에서 종래의 RC상판을 대신할 구조로서 프리스트레스 콘크리트 상판(PC상판)과 각종의 강·콘크리트 합성상판이 개발되어지고 있다. 이에 부합되는 구

조형식으로서 강과 콘크리트를 조합한 합성상판이 주목을 받고 있다. 공장에서 제작된 저장판을 현장에 반입하여, 콘크리트 타설 전에 배력철근방향에 분할된 저장판을 접합하여 일체화 하여야 한다. 배력철근방향의 이음구조에 요구되는 성질에는 이음부의 휨모멘트와 전단력을 완전히 전달하는 동시에 단순화한 이음구조가 요구된다.

본 논문에서는 로빈슨형 합성상판을 대상으로 인장볼트접합을 이용한 저장판의 배력철근방향 이음구조를 제안한다. 또한, 지간중양부에서 접합한 합성상판 공시체를 대상으로 정적재하시험을 실시하여 이음부의 휨강성에 관하여 검토한다.

또한 3차원정적탄소성 FEM해석을 수행하

* 정회원, 경일대학교 토목공학부 교수, 工博
E-mail ; seosungtag@yumail.ac.kr

* Lecturer, Dept. of Civil Engineering, Kyungil University

여, 이음부의 응력 및 변형을 검토한다.^{1),2)}

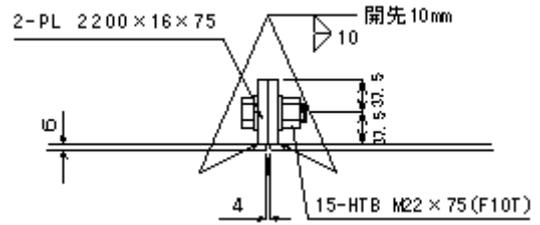
2. 시험개요

교축(배력철근) 방향에 분할된 저장관상호의 이음구조는 고력볼트(HTB) 이음 Type Eo 를 기본으로 해서 접합단부의 Rib plate에 뚫어진 구멍에 축방향철근을 삽입해서 보강한 구조 E1 및 비교용의 이음이 없는 공시체(Type A)의 합계 3종류에 관해서 정적재하시험 및 정점피로재하시험을 하였다.

2.1 공시체

Fig. 1, Fig. 2, 사진 1, 사진 2에 정적재하시험에 이용한 공시체의 구조 일반도 및 이음구조를 나타냈다. 또한 Table 1에 공시체 종류의 개요를 나타냈지만, 각각 이음구조에 대해서 1본씩, 정적재하, 정점피로 재하시험을 하였다.

Span 2000mm의 중앙점에서 결합된 교축방향의 폭 2700mm, 저장관두께 6mm(강판종류 SS400), 전고150mm(피로시험 120mm)의 합성상판이며, 시간중앙부의 이음구조를 제외하고는 전부 동일한 단면제원이다. 또한, 고력볼트(F10T, M22)는 볼트내력의 75%의 축력을 도입한다. 콘크리트 압축강도는 평균 35kN/mm²이다.³⁾



(c) Detailed Drawing(A)

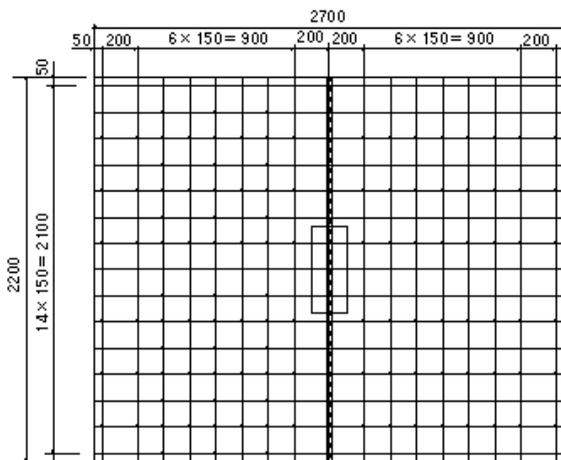
Fig.1 HTB Tensile Connection (Type Eo)



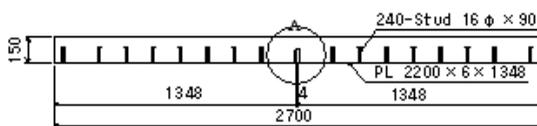
Photo1 HTB Tensile Connection (Type Eo)

Table 1. Abstract of Specimen

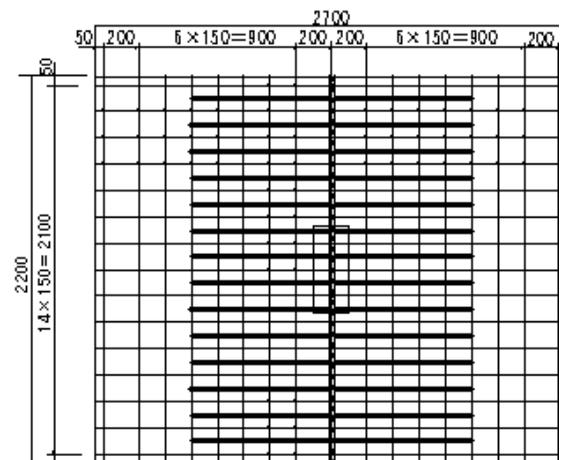
공시체	이음종류	정적재하시험
Type A	이음없음(비교용)	1본
Type Eo	인장이음(기본형)	1본
Type E1	인장이음(보강형)	1본



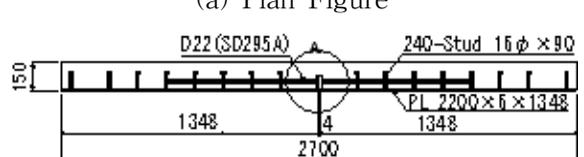
(a) Plan Figure



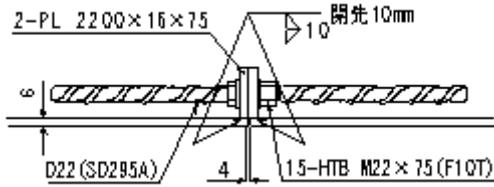
(b) Front View



(a) Plan Figure



(b) Front View



(c) Detailed Drawing(A)

Fig.2 HTB Tensile Connection of Reinforcing Bar (Type E1)



Photo 2. HTB Tensile Connection of Reinforcing Bar (Type E1)

상한하중은 Punching 전단하중의 30%(윤하중의 30%)에 해당하는 하중을 Step3(설계하중의 2배)로서, 1/3, 2/3을 Step1, Step2로 하였다.

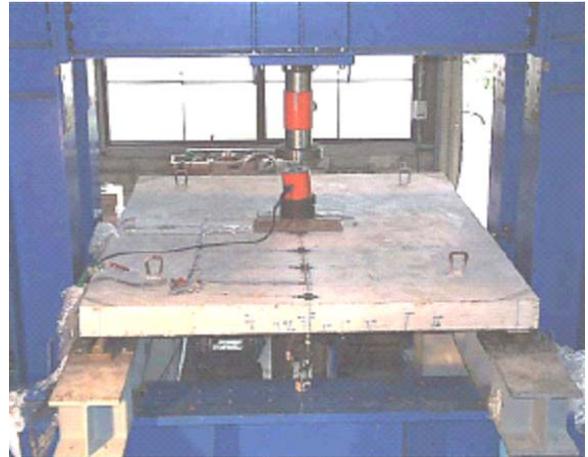


Photo 3 Method of Static Fatigue Test

2.2 시험방법

시험전경을 사진 3에 나타냈다. 상판지간은 2000mm로서 지점조건은 회전 및 수평방향의 이동을 가능하게 했다. 재하는 지간중앙의 이음상에 유압자기를 이용하여 200mm × 500mm × 50mm의 재하판을 넣어서 실시하였다. 하중은 10kN의 Step으로 단순재하하며, 처짐, 변형데이터의 계측 및 균열폭을 관측하였다.

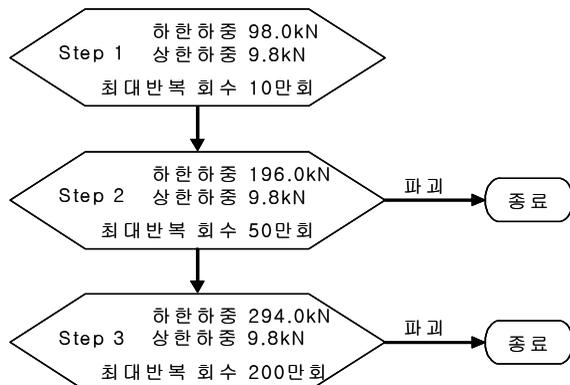


Fig. 3 Method of Static Fatigue Test

정점재하시험은 Fig. 3에 표시한 바와 같이 Step1 (9.8kN~98kN), Step2 (9.8kN~196kN), Step3 (9.8kN~294kN)의 3단계를 주파수 1Hz~2Hz의 단진정현파로 하였다. 각 Step의

3. 해석개요

3.1 해석모델

재하시험과 병행하여 범용해석프로그램 LUSAS VER 13.3을 이용하여 탄소성 FEM해석을 하였다. 이음부의 볼트 등에 의한 폭발하중의 비균질성을 고려하기 위하여 3차원탄소성해석으로 접합판의거동, 즉 이음부의 강성 및 변형을 검토한다. Fig. 4는 1/4부분의 요소분할도를 나타냈다.⁴⁾

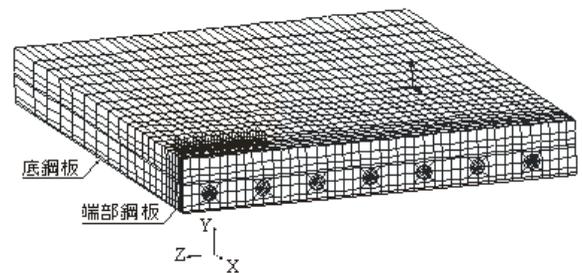


Fig. 4 Element Division (1/4 Symmetry Model)

3.2 해석조건

각각의 모델화는 강판, 콘크리트는 1개의 절점에서 3개의 자유도를 갖는 3차원 8절점 Solid 요소를 사용하며, 철근에는 축력만을 전달하는 2절점 봉요소를 사용하였다. 인장이음의 볼트는 실제구조를 표현할 수 있도록 Solid 요소를 사용하여 모델화하였으며, 볼트의 두부는 단부강판과 강결로 했다.

4. 정적재하시험의 결과 및 고찰

4.1 편칭전단력

상판의 재하시험의 결과를 Table 3에 표시했다. 사진 4는 각 공시체의 파괴상태를 나타내며, 모든 공시체가 편칭전단파괴가 발생했다. 또한 Table중의 편칭전단내력은 (Pc)의 계산치는 RC상판을 대상으로 한 마쓰이식을 준용해서 다음의 산정식(1), (2)에 기초해서 계산했다.⁵⁾

(a) Type A

$$P_c = \tau_{smax} \{2(a + 2x_m)x_d + 2(b + 2x_d)x_m\}$$

(b) Type Eo, E1

$$P_c = \tau_{smax} \{2(a + 2x_m)x_{db} + 2(b + 2x_{db})x_m\}$$

여기서,

a, b : 재하판의 교축직각방향, 교축방향의 변장(cm)

x_m, x_d : 교축직각방향 및 교축방향에 직각한 단면의 인장축 콘크리트를 무시한 단면의 중립축 깊이(cm)

x_{db} : 교축방향에 직각한 단면(Eo:볼트, E1:보강철근까지)의 인장축 콘크리트를 무시한 단면의 중립축깊이(cm)

τ_{smax} : 콘크리트의 최대전단응력도

$$= 24.6\sigma_{ck} - 0.024\sigma_{ck}^2 \text{ (kN/mm}^2\text{)}$$

여기서, Fig. 5에 파괴직전의 파괴단면의 응력분포의 추정된 모델을 표시했다. Type Eo, E1의 교축방향에는 재하판 아래의 이음부에 따른 불연속단면을 포함하고 있다. 이 불연속단면이 있기 때문에 재하판 아래의 중립축(x_{db})가 변화한다. 이 영향을 고려하기 위해서, 교축방향의 단면은 중앙의 이음단면을 사용해서 내력을 산출했다. Table 3에 나타낸바와 같이 계산치는 실험치의 약 1.2배의 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이상과 같이 본 구조에 따른 이음부의 유무에 관계없이 합성상판의 편칭전단내력은 20%정도 과대하게 평가하는 것을 고려하면, 마쓰이식을 준용해서 산정식으로 추정 가능함을 알 수 있다. 또한, 편칭전단내력은 Type A와 비교해서 E1이 0.84, Eo가 0.73으로 나타났다. 따라서 편칭전단내력은 보의 시험의 휨파괴와 동일하게 철근보강에 따른 Type E1의 보강효과가 확인되었다.

Table3 Experiment and Calculation Result

공시체	상판	
	파괴하중 (Ps)(kN)	편칭전단내력 (Pc)(kN)
Type A	1048.6	839.3
Type E1	882.0	726.2
Type Eo	764.4	611.2



(a) Type a



(b) Type Eo



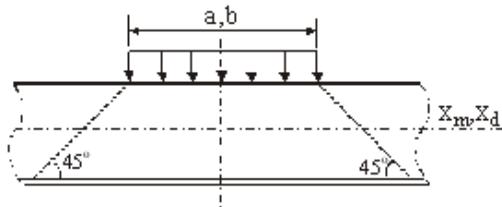
(c) Type E1

Photo4. Punching Shear Failure

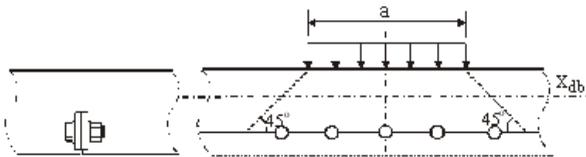
4.2 변형성상

Fig. 6에 정적재하시험으로 Type A, Eo, E1의 하중과 처짐곡선, Fig. 7, Fig. 8에 하중 294kN시의 중앙면 연직변위분포의 실험치와 FEM해석치를 나타냈다. 각 Type를 비교하면, 하중 330kN까지 Type A의 강성이 최대로서, 그 후에 조금씩 저하하지만 편칭전단파괴에 도달하기까지는 Type E1과 동양으로 높은 강성을 보유하고 있음을 알 수 있다. 이것과 대조적으로 Type Eo는 위의 Type A와 E1과 비교해서 하중 550kN부터 강성이 저하하지만, 최종적으로는 처짐이 1mm이내의 차이를 보이며, 공시체 3본 모두 설계활하중에 대한 허용 처짐 $L/2000$ (L:상판지간)을 만족하고 있음을 알 수 있다. 또한, Fig.중의 FEM해석치는 실험치와 거의 일치하고 있다. Fig. 9에 Type Eo, Type E1의 이음부의 개구폭곡선을 나타

냈다. 하중의 초기단계에서는 Type Eo, E1과 함께 탄성거동을 나타내고 있으며 거의 같은 값을 나타내고 있으나, 그 후 Type Eo는 개구폭이 크게 되는 경향을 보였다. 그러나 설계하중의 1.5배까지 0.08mm로서 개구폭과 처짐의 상관관계에 따라 충분히 안전측으로 평가 가능하다고 판단된다.



(a) Span Direction and Direction Perpendicular to the Span(Type A)



Direction Perpendicular Span Direction
(b) Span Direction(Type Eo, E1)

Fig.5 Stress Distribution in Punching Shear Failure

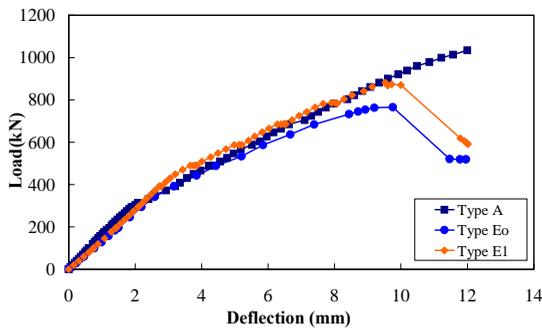


Fig.6 Deflection Curve in Center Span

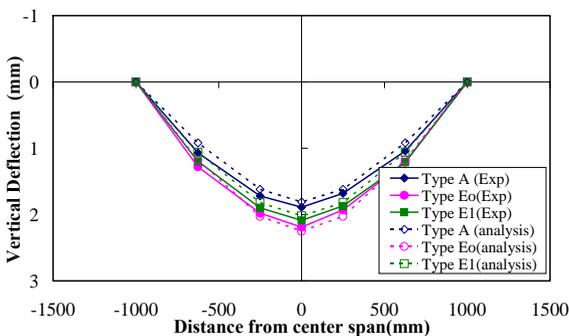


Fig.7 Vertical Deflection in Direction Perpendicular (Loading 294kN)

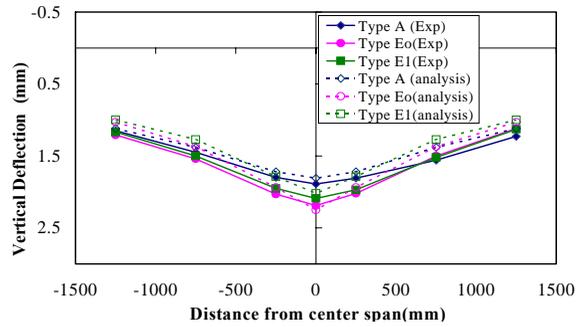


Fig.8 Vertical Deflection in Span Direction (Loading 294kN)

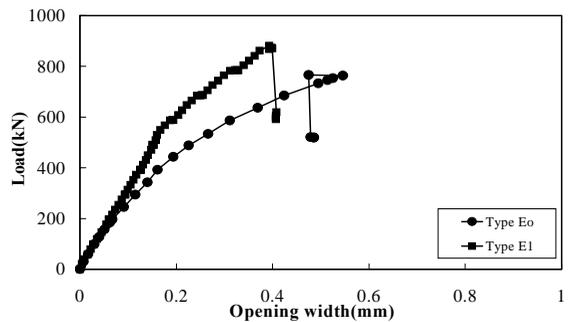


Fig.9 Opening Width Curve

4.3 간이식에 의한 회전강성 스프링 정수의 산정

이음부의 강성을 평가하기 위해 회전 스프링 모델을 이용하여 검토하였다. Fig. 10에 이음부의 간단한 모델을 표시했으며, 접합부의 단부강판의 변형은 없고, 직선형상으로 접합부의 개구되는 것으로 가정하였다.

$$k_{\theta} = \frac{M_j}{\theta}$$

$$\theta = 2 \sin^{-1} \left(\frac{\delta}{2z} \right)$$

여기서, θ : 이음면의 회전각

z : 저강판 하면에서 부터 볼트 위치까지의 거리

δ : 이음부의 개구폭

위의 식을 이용해서 산정한 각 Type의 회전 스프링 정수를 Fig. 11에 나타냈다. 또한, 비교를 위해서 Type Eo의 이음구조를 이용한 샌드위치형 복합상판의 스프링 정수를 나타냈다. 그 결과로부터 샌드위치형 상판과 비교해서 오픈샌드위치형인 본 상판의 초기강성은 30% 정도 작으며, 기본형의 Type Eo는 하중증가와 함께 이음강성이 직선적으로 감소하고 있음에

반해서, 철근보강형의 Type E1은 하중 500kN까지는 현저하게 저하하지 않고 초기강성의 90%정도를 유지하고 있음을 알 수 있다.⁶⁾

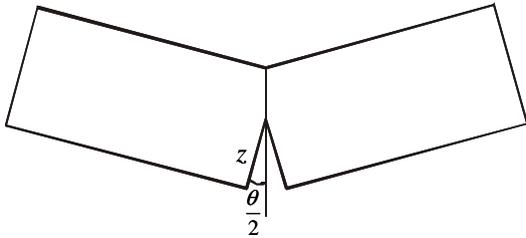


Fig. 10 Model of Connection Part

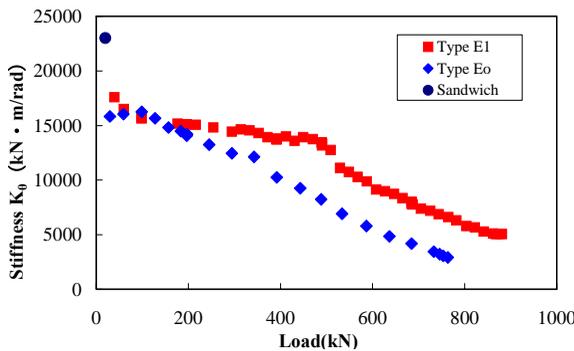


Fig. 11 Relation Curve of Load and Stiffness (k_{θ})

5. 결론

- (1) 모든 경우의 상판 공시체에서 파괴형식은 편칭전단파괴이다. 이음부가 없는 Type A의 편칭전단내력과 비교해서 철근보강 Type이음 E1이 0.84, 기본 Type Eo가 0.73으로 나타났다.
- (2) Type Eo, E1의 편칭전단내력의 계산치는 교축직각방향에는 전단면, 교축방향에는 접합부단면(볼트 · 보강철근높이까지)로서 마쯔이식을 준용한 산정식에서는 20%과대하게 평가한다.

- (3) 하중 330kN까지 Type A의 강성이 최대이며, 편칭전단파괴에 도달하기까지는 Type E1과 동일하게 높은 강성을 보유하고 있다. Type Eo는 위의 Type A와 E1과 비교해서 하중 550kN부터 강성이 저하하지만, 최종적으로는 처짐이 1mm이내의 차이를 보였다.
- (4) 이음부의 강성을 회전 스프링정수를 산정했지만, Type E1은 현저한 이음부의 강성 저하는 확인할 수 없다.

참고문헌

- 1) 히노신일, 서성탁, 태전준호, 인장볼트를 이용한 도로교 합성상판의 배력철근방향 이음과 그 설계휨모멘트에 관한 검토, 구조공학 논문집, Vol.47A, pp.1517-1524, 2001.3.
- 2) 토목학회 합성상판 WG, 도로교합성상판의 교축방향이음의 피로성상에 관한 실험적 연구, 1996.3.(in Japanese)
- 3) 일본강구조협회, 교량용 고력볼트 인장접합 설계지침(안)
- 4) FEA사, Lusas ver.13.3 User Manual
- 5) 전다행웅, 마쯔이, 철근콘크리트 상판의 편칭전단 내화력의 평가식, 토목학회논문집, pp. 348-pp.360, 1984.8.
- 6) 아베 외 2인, 샌드위치형 복합상판의 이음부에 관한 연구, 제1회 강교상판 심포지움 강연논문집, pp.241-246, 1998.11

(2006년 6월 26일 접수, 2006년 8월 20일 채택)