교량 확폭시 RC 상판 접합부의 전단강도에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Shear Strength of Construction Joints of RC Slabs at Widened Bridges

* 이 승 용 Lee, Seung Yong

** 조 병 완 Jo, Byung Wan

*** 장 동 일 Chang, Dong Il

ABSTRACT

Recent increasing traffic volumes have made many bridges on highway be widened. In widening of existing bridges, construction joints between old and new parts of concrete slabs are subjected to repeated traffic loads during placing and curing of concrete. Therefore, the main goal of this paper is given to investigate the variation of the shear strength of widening deck.

As a result, the occurrence of cracks in vibrating specimen is faster than that of non-vibrating one, and most of cracks are occurred at new concrete. And the difference of shear strength in vibrating specimen is larger than non-vibrating one, but the difference is negligible. Also, it shows the same result about direct and non-shrinkage joint specimen test.

1. 서 론

최근 산업의 발달과 차량의 증가로 인한 교통량의 급증으로 주요 간선도로에서 심각한 교통정체가 발생하고 있어 도로의 확장공사가 계획, 시공되고 있으며, 이에 따라 교량의 확폭공사가 수반되고 있다. 교량의 확폭공사를 실시할 경우에는 장시간 동안 차량의 완전통제는 제반 여건상 불가능하므로 현재 차선의 차량통행하에서 시공하는 것이 요구된다. 그러나 교량에 있어서 확폭부에 거더를 신설하여 상판을 잇는 시공방법으로 확폭공사를 실시하는 경우에는 기존부를 통과하는 차량의 영향에 의해 기존부와 확폭부 사이의 주형에 부등처짐으로 인한 단차가 발생하며, 기존 상판과 확폭부의 이음부에 타설시와 양생중에 반복휨 및 전단력을 받게 된다.

또한, 기존의 연구결과들에 따르면 확폭시공시 인접지역을 통과하는 차량에 의해 발생하는 진동은 굳지 않은 콘크리트의 강도를 저하시키는 원인이 될 뿐만 아니라, 기존교량에 신교량을 맞대어 접합하고 신교량의 동바리를 제거함으로써 발생되는 상호간의 응력전달에서의 문제점과 서로 다른 재령 차이에 따른 건조수축 및 크리이프차에 의한 추가응력부담, 접합부의 부착강도 저하 등이 발생한다고 알려져 있다.

따라서 본 연구에서는 교량 확폭 시공시 진동 및 기설부와 접합부의 시공방법에 따른 영향을 조사하기 위해 진동의 유무, 접합형식(일체치기, 직접접합, 무수축콘크리트 접합), 접합면 처리방법(무처리, 접착제 도포, breaking후 접착제 도포) 등의 시험변수에 따라 시험체를 제작하여 전단강도 시험을 실시하여 하중에 따른 각 시험체의 균열폭, 균열하중, 균열발달상황, 철근 및 콘크리트의 변형, 시험체의 변위와 파괴하중을 측정하였다.

또한 범용 구조해석 패키지 프로그램인 ADINA를 사용하여 구조해석을 실시하여, 재

*한양대학교 산업과학연구소 연구원

** 한양대학교 토목공학과 조교수

*** 한양대학교 토목공학과 교수

료의 합리적 구성방정식을 도출하고 하중의 증가에 따른 처짐, 변형율, 응력 및 균열의 발달상황 등에 대한 시험치와의 비교, 고찰을 실시하였다.

2. 시험체 설계

2.1 시험체의 설정

시험체의 크기는 현재 확폭하고 있거나 확폭된 교량의 제원을 조사하여 결정하였다. 조사된 확폭교량 상판 단면자료에서 거더간격은 2.5m, 슬래브 두께는 0.20~0.25m, 주철근은 상부 H16@200, 하부 H13@100, 배력철근은 상부 H13@200, 하부 H13@100으로 나타났다. 따라서, 본 시험의 시험체의 길이는 거더간격을 2.5m로 할 때, 2.5m×0.578≒1.4m에서 양쪽의 지점여유를 10cm씩 두어 1.6m로 결정하였으며, 슬래브의 두께가 200~250mm이므로 시험체의 두께를 200mm로 하였다. 슬래브의 폭은 두께의 3배 이상이 될 때 슬래브의 거동을 한다고 보고, 시험체의 폭을 700mm로 하였다. 한편, 시험체의 설계는 기존 교량의 설계방법인 W.S.D 설계법에 의해 설계, 검토하였다.

2.2 사용재료

철근은 KS D 3504에 규정되어 있는 이형철근 H16(주철근용)과 H13(배력철근용)을 사용하였다. 한편, 콘크리트 배합시 시멘트는 보통 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 골재는 한강에서 채취한 강모래, 강자갈을 사용하였다. 시멘트, 잔골재 및 굵은골재의 비중 및 조립율은 표 2.1과 같다.

표 2.1 시멘트, 골재의 비중 및 조립율

	시멘트	잔골재	굵은골재
비 중	3.15	2.60	2.65
조 립 율	-	2.80	6.50

콘크리트의 배합설계는 현장조건과 동일하게 하였으며, 배합설계조건은 표 2.2와 같다.

2.3 시험체 분류

전단강도시험에서는 접합방법별(일체치기, 직접접합, 무수축접합, Breaking 접합) 그리고 가진유무(가진, 무가진)에 따라 시

표 2.2 콘크리트 배합설계

굵은골재최대치수 (mm)	슬럼프 (cm)	호칭강도 (kg/cm²)	공기량 (%)	혼화재료의 종류
25	12	270	3~5	AE 감수제

물시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	시멘트 (kg/m³)	물 (kg/m³)	잔골재 (kg/m³)	굵은골재 (kg/m³)	혼화제 (kg/m³)
45.2	44.0	394	178	769	997	0.79

험체를 제작하였으며, 각 시험요인별 시험체의 분류는 다음 표 2.3과 같다.

표 2.3 시험체의 분류

시험체 구분	시험요인								
	접합방법				접합면처리	양생중 가진		재하방법	
	일체치기	직접접합	무수축접합	breaking 접합	접착제	무처리	유	무	선하중	집중하중
SW-1,2	○					○		○	○	
SW-3,4	○					○		○		○
SND-1,2		○				○		○	○	
SND-3,4		○				○		○		○
SNE-1,2			○			○		○	○	
SNE-3,4			○			○		○		○
SND B-1		○		○	○			○	○	
SND B-2		○		○	○			○		○
SVD-1,2		○			○		○		○	
SVD-3,4		○			○		○			○
SVE-1,2			○		○		○		○	
SVE-3,4			○		○		○			○

2.4 철근배근도

W.S.D 설계법에 의한 구조계산 결과 주철근은 H16으로 상부 20cm, 하부는 10cm 간격으로 배근하였고, 배력철근은 H13으로 상부는 20cm, 하부는 10cm로 배근하였다. 이때 직접접합 시험체의 배근도는 그림 2.1과 같다.

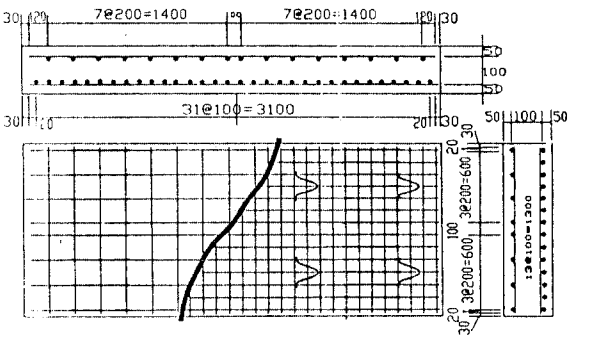


그림 2.1 직접접합 시험체 배근도

3. 가진 시험체의 제작 방법

교량확폭 시공시 차량에 의해 발생하는 진동이 굳지 않은 콘크리트의 강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 시험체 제작시 진동을 가하여 양생하는 시험체의 제작방법은 그림 3.1과 같다.

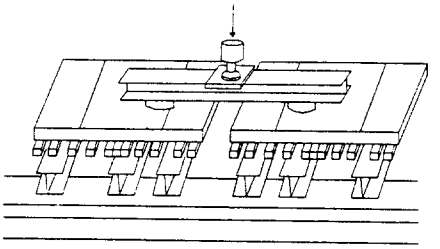


그림 3.1 가진공시체 제작방법

양생중 진동을 가하는 시험체 제작순서는 ① 제작장치상의 거푸집에 구 콘크리트를 배치한 후, ② 구콘크리트에 피로시험기의 하중을 그림 3.1과 같이 두 점에서 재하하여 동시에 두개의 시편을 가진하고, ③ 중앙보 상의 구콘크리트를 진폭 1mm, 진동수 4Hz로 진동시킨다. ④ 진동을 계속하면서 신콘크리트를 타설하고 타설 종료 후에도 20시간 같은 진동을 계속한다. ⑤ 진동을 멈춘 후 28일 이후에 시편을 concrete cutter기를 사용하여 4등분하여 시험체를 제작하였다.

4. 실험 방법

전단강도 시험에서 적용되는 하중재하방법은 선하중과 집중하중으로 선정배경은 다음과 같다. DB-24 하중은 재하길이가 1.8m이고, 차량간 근접길이가 1.2m이므로 1.4m 시편내에 4점 휨실험이 불가함으로 3점 휨 선하중이 적용되었고, 집중하중은 자동차 바퀴의 영향을 살펴보기 위해 일본 도로교 시방서에서 추천하는 바퀴면적 20×50cm로부터 1:2.5의 비율로 축소하여 10×25cm로 결정하였다. 이는 지압파괴가 방지되는 최소면적보다 큰 값이다.

그림 4.1과 같이 시험체 번호 ①,②인 경우는 선하중이, 시험체 번호 ③,④인 경우는 집중하중이 적용되었으며, 가력하중은 1ton씩 증가시켰고, 20ton 이후에는 500kg씩 파괴하중까지 증가시켰다. 다음 그림 4.2는 하중재하 방법별 시험방법을 나타내고 있으며, 게이지 부착위치는 그림 4.3과 같다.

5. 실험결과 및 고찰

5.1 시험체의 전단거동

전단시험을 실시한 결과 얻어진 측정치

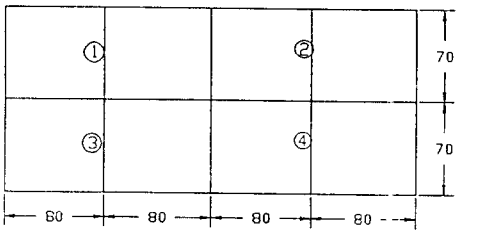
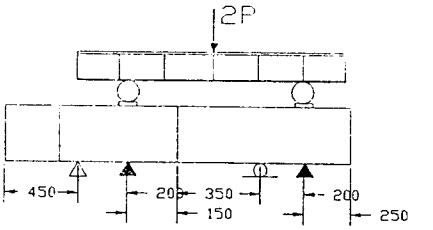
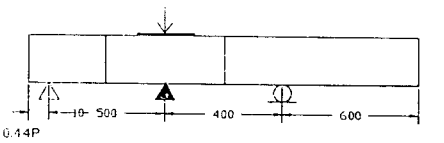


그림 4.1 시험체 번호



(a) 선하중



(b) 집중하중

그림 4.2 시험방법

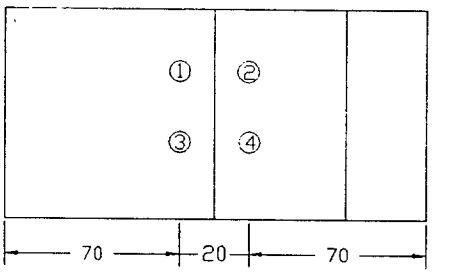


그림 4.3 게이지 부착위치 및 번호

와 이론치를 비교하면 표 5.1과 같다.

표 5.1로 부터 선하중이 재하된 시험체의 처짐은 3.5~11.6mm(평균 6.3mm)로 대부분 구콘크리트에서 발생하였으며, 집중하중이 재하된 시험체의 처짐은 3.7~12.49mm(평균 7.33mm)로 나타났다. 이때 시험체의 하중-처짐곡선의 일례는 그림 5.1과 같다.

한편 파괴하중은 선하중인 경우, 일체치기 시험체는 47~68ton(평균 57.5ton), 무

표 5.1 측정결과

가력 방법	시험체 번 호	변 위 (mm)	균 열 (ton) 이론치	초기균열	전단균열	파괴하중(ton) 이론치	실험치
선 하 중	SW-1	3.50	10.8	9.0	33.0	76.3	47.0
	SW-2	11.60		14.0	31.0		68.0
	SND-1	6.75		3.0	46.0		75.0
	SND-2	3.70		16.0	30.0		60.3
	SVD-1	6.60		8.0	41.0		71.0
	SVD-2	5.27		8.0	39.0		70.0
	SND-B1	3.90		5.0	34.0		60.0
	SNE-1	6.60		7.0	37.0		58.0
	SNE-2	4.77		4.0	37.0		64.0
	SVE-1	10.00		10.0	35.0		76.0
	SVE-2	6.64		5.0	42.0		67.8
집 중 하 중	SW-3	8.40	5.5	5.0	32.5	55.6	40.0
	SW-4	6.90		3.0	30.0		44.0
	SND-3	8.47		3.0	20.5		29.8
	SND-4	3.70		6.0	23.5		26.0
	SVD-3	5.81		3.0	28.5		41.7
	SVD-4	12.50		5.0	17.0		26.1
	SND-B2	6.76		3.0	22.0		38.0
	SNE-3	10.10		4.0	25.5		27.5
	SNE-4	5.76		3.0	22.5		29.4
	SVE-3	6.20		4.0	22.5		32.2
	SVE-4	6.10		3.0	27.0		34.0

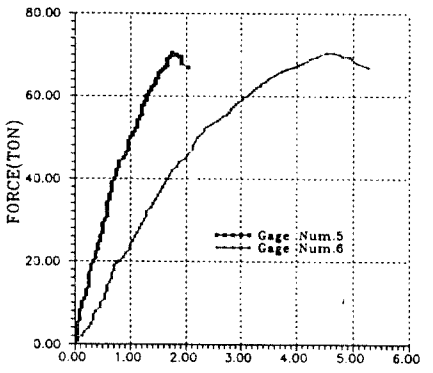


그림 5.1 하중-처짐 곡선(SVD-2)

가진 시험체는 58~75ton(평균 63.5ton), 그리고 가진 시험체는 67.8~76ton(평균 71.2ton)으로 이는 예상파괴하중인 76.3ton 보다 작은 값이나 가진시험체와는 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 집중하중인 경우, 일체치기 시험체는 40~44ton(평균 42ton), 무가진 시험체 26~38ton(평균 30.1ton), 가진 시험체는 26.1~41.7ton(평균 33.5ton)으로 나타났으며, 이 값은 예상 파괴하중인 55.6ton 보다 작은 값이다.

전단시험에서 가진 시험체가 무가진 시험체보다 파괴하중이 높게 나타났으나 그 차이는 미소하였다. 이는 하루(20시간) 진동으로 인한 다짐효과, 골재의 interlocking, 철근과 콘크리트의 충분한 부착으로 인한 것으로 사료된다. 그리고 시멘트 종류에 따른 차이는 크게 나타나지 않았고 접착제 도포인 경우 무처리한 면보다는 약간 증가된 값을 보였다.

전단시험에서 가력방법에 따른 각 하중단계별 철근변형은 표 5.2와 같다.

표 5.2 시험체의 변형(단위 : $\times 10^{-6}$)

가력 방법	시험체	하 중 (ton) 1	3	5	10	15
선 하 중	SW	16	22	25	30	43
	SND	1	3	9	18	30
	SNE	1	3	7	15	23
	SND-B	22	23	26	35	45
	SVD	13	19	24	33	42
	SVE	22	23	29	30	38
집중하중	SW	6	10	16	38	115
	SND	9	16	31	73	153
	SNE	6	17	27	65	246
	SND-B	13	27	47	130	267
	SVD	7	21	40	76	130
	SVE	10	13	30	48	123

균열발생하중 범위인 1~3ton 사이에서의 철근의 변형은 가진 시험체가 무가진 시험체보다 다소 큰 변형을 보이고 있으며, breaking 시험체의 경우는 가력방법에 관계없이 초기의 1ton, 3ton에서 큰 변형을 보이고 있다.

또한 선하중이 재하된 시험체에서 하중초기에는 가진 시험체가 무가진 시험체보다 다소 큰 변형을 나타냈으며, 무가진 시험체에서는 시멘트의 종류에 따른 차이는 거의 없었고, 가진시험체인 경우는 무수축콘크리트가 직접접합보다 큰 변형을 보였으나 하중이 증가함에 따라서 변형은 오히려 적어졌으며, 접착제의 효과는 나타나지 않았다.

집중하중 재하시는 가진 시험체가 무가진 시험체보다 큰 변형을 보였고, 이음부 처리방법의 차이는 미미하였다. 가진시험체인 경우 무수축콘크리트가 보통콘크리트보다 초기하중하에서 철근의 변형이 크게 나타났지만 하중이 증가함에 따라서 변형은 오히려 작게 나타났으며, 접착제의 효과는 나타나지 않았다.

5.2 균열발달상황

전단시험으로 인한 균열발생하중 및 파괴하중은 표 5.1과 같으며, 초기균열은 휨균열이었고 가력방법 및 진동의 유무에 따

라 큰 차이는 보이지 않았다. 변형게이지로부터 균열하중은 3~16ton 까지 큰 편차를 나타내고 있으나, 집중하중인 경우 4ton 전후였다.

균열발생하중은 선하중인 경우 가진 시험체는 5~10ton, 무가진 시험체는 3~16ton으로 큰 차이를 보이고 있지 않았다. 그리고 균열은 구콘크리트에서 발생하였으며 이음부 처리방법에 따른 차이는 크게 나타나지 았았다. 한편, 집중하중인 경우 가진 시험체는 3~5ton, 무가진 시험체는 3~6ton으로 역시 미소한 차이를 보였다. 균열발생하중은 가진 시험체가 무가진 시험체보다 크고, 대부분의 균열은 신콘크리트에서 발생하였으며, 이음부 처리방법에 따른 차이는 나타나지 않았다.

균열의 발달상황 및 파괴양상의 일례는 다음 그림 5.2와 같다.

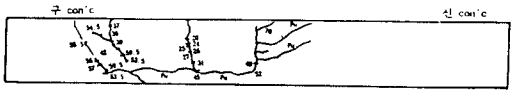
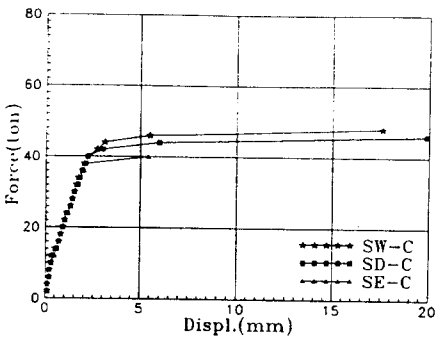


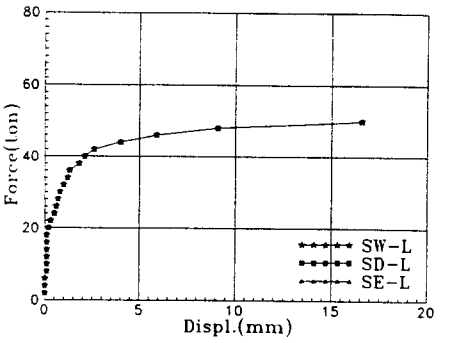
그림 5.2 균열도(SVD-2)

6. 수치해석

범용 구조해석 패키지 프로그램인 ADINA를 통한 수치해석시 시험체별 파괴하중까지의 하중 증가에 따른 각종 응답 중에서 콘크리트의 비선형적 거동을 총체적으로 파악할 수 있는 처짐을 중점적으로 고찰하였으며, 콘크리트와 철근의 변형율과 응력도 함께 비교, 고찰하였다. 일체치기(SW)와 직접접합(SD), 무수축 접합(SE)인 경우에 대한 하중-처짐관계의 수치해석 결과는 그림 6.1과 같다.



(a) 집중하중



(b)선하중

그림 6.1 하중-처짐 관계

그림 6.1(a)와 같은 집중하중의 경우에는 파괴하중이 SW > SD > SE의 순으로서 각각 44, 40, 38ton으로 나타났으며, 선하중의 경우에는 처짐량이 작아 상호간의 처짐차이가 거의 나타나지 않았다.

한편, 수치해석에 의한 결과와 측정치를 비교하면 집중하중의 경우, 수치해가 측정치보다 파괴하중이 다소 크게 나타나고 있음을 알 수 있으나 대체로 그 경향은 일치하고 있다. 그러나 선하중의 경우에는 수치해와 측정치간에 거의 상관관계를 찾을 수 없을 정도로 다르게 나타나고 있다. 이는 선하중의 경우에는 완전한 전단파괴의 형식으로 파괴가 진행되므로 지점에서 20cm 떨어진 위치에서의 처짐계의 값만으로는 시험체의 전단거동을 포착하기에 부족하기 때문이며, 한편 구조해석모델 측면에서는 전단의 경우 콘크리트와 철근의 부착거동, 콘크리트와 골재 상호간의 맞물림 거동 등을 충분히 고려하고 있지 않은 복합적인 원인에 기인한다고 판단된다.

7. 결 론

1) 양생중 진동을 받는 시험체는 이음부의 부착이 약해져서 일체치기, 무가진시험체보다 균열이 발생하기 쉬우나 휨내력 및 전단내력에의 저하는 없고 오히려 극한모멘트는 일체치기와 큰 차이를 보이지 않았다.

2) 전단강도는 선하중인 경우, 가진 무수축콘크리트가 무가진 무수축콘크리트 보다 약 20% 큰 전단강도를 보였으며, 접합면에 의한 차이는 미소하였다. 또한 집중하중인 경우 가진에 의한 영향이 뚜렷하게 나타났는데 무수축콘크리트인 경우 가진시험체가

무가진시험체 보다 16%, 직접접합인 경우 가진시험체가 무가진시험체 보다 20% 큰 전단강도를 보였다.

3) 접합형식에서 무수축접합과 직접접합의 차이는 미소하였고, 또한 정적시험에서 가진에 의한 내하력의 저하는 나타나지 않았고 오히려 강도를 증진시키는 것으로 나타났다. 그러나 접합면에서의 균열은 교량의 사용성과 유지관리면에서 상당한 문제점을 야기시키기 때문에 이에 대한 연구가 필요하다고 사료된다

감사의 글

본 연구는 1992년도 한국도로공사의 연구비 지원으로 이루어졌으며 도로연구소장님 및 배두병 실장님, 정수형 선임연구원께 감사를 드립니다.

8. 참고문헌

1) Allen J.H., Carrato, J.L. and McHale P.F., "Guide for Widening Highway Bridges," ACI Structural Journal, Title No. 89-S45, pp. 451-466, 1992.

2) Furr H.L. and Fouad F.H., "Effect of Moving Traffic on Fresh Concrete During Bridge-Deck Widening," Transportation Research Record 860, pp. 28-36, 1990.

3) Jofriet J.C. and McNiece G.M., "Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Slabs," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 97, No. ST3, March 1971.

4) Kabir A.F., "Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Panels, Slabs and Shells for Time Dependent Effects," Ph.D Dissertation, Division of Structural Engineering and Structural Mechanics, University of California, Berkeley, UC-SESM 76-6, December 1976.

5) Soto M.H., "Some Considerations in Widening and Rehabilitation of Bridge," pp. 56-63.

6) 藤田信一, 角 昌降, 高橋幸三, "橋梁擴幅時の打繼に關する試驗," 日本道路公團試驗所, pp. 103-112, Nov. 1981.

7) 藤田信一, 角 昌降, 高橋幸三, "橋梁擴幅時の打繼に關する試驗(第2報)," 日本道路公團試驗所, pp. 86-95, Nov. 1982.

8) 高木秀貴, 岡田治憲, "道路橋の鐵筋コンクリート床版補強工法について," 土木試驗所月報, No. 259, pp. 1-11, Dec. 1974.

9) 前川靜男, 沖野俊廣, "エポキイシ樹胎による新コンクリートの接着に關する研究," 土木試驗所月報, No. 48, pp. 1-6, Aug. 1968.

10) 高木秀貴, "道路橋の鐵筋コンクリート床版に關する調査研究よおび補修補強について," 土木試驗所月報, No. 275, pp. 1-17, 1976.