

# 강·콘크리트 합성바닥판

## 일본 합성구조물 설계의 소개



문태경\*

### 제1장 일 반

지금까지, 강도로교를 비롯하여 바닥판으로는 철근콘크리트바닥판(이하 RC바닥판)이 폭 넓게 일반적으로 사용되어왔다. 이것은, RC바닥판이 다른 형식에 비해서 경제적으로 뛰어나 있으며, 시공이 비교적으로 용이한 것 등이 그 이유라고 생각되어진다. 그러나, 최근 반복 하중(자동차하중)에 의한 RC바닥판의 손상발생과 숙련 인부 부족 등의 문제가 지적되고 있다. 이러한 배경으로부터, RC바닥판을 대신할 수 있는 것으로 여러 가지 합성바닥판구조가 개발되어왔다. 합성바닥판구조를 종래 RC바닥판과 비교하면, 일반적으로 이하에 보여주는 특징을 가지고 있다.

- 1) 형틀, 배근의 대부분을 공장에서 행하기 때문에 현장작업을 삭감시킬 수 있다.
- 2) 품질의 유지·관리가 용이하다.
- 3) 판강성(版剛性)이 크며, 바닥판 두께를 줄일 수 있다.

합성바닥판 구조는 도로교, 철도교, 보도교등의 교량바닥판 및 주차장바닥판등에 사용될 수

있다. 본지침은 이러한 종류의 바닥판 구조에 한계상태설계법을 적용할 경우, 설계 및 시공의 지침이 되도록 작성한 것이다.

### 1.1 적용범위

강판 또는 형강(形鋼)과 콘크리트가 일체가 되어서 하중에 저항할수 있도록 구성되어진, 합성바닥판구조의 설계·시공에 적용한다. 그러나, 철도교에 사용되는 경우에는 포함시키지 않는다.

표 1 합성바닥판의 종류

	콘크리트매몰형 합성바닥판		I형강격자바닥판 형강매몰프리캐스트판
합성바닥판	강판·콘크리트 합성바닥판	강판1장	로빈슨형합성바닥판 파이프전단연결재합성바닥판 SFRC합성간바닥판 돌기있는 T형강단연결재합성바닥판 트러스형단연결재합성바닥판 입체트러스형전단연결재합성바닥판 파형강판합성바닥판
		강판2장	샌드위치구합성바닥판
	기타합성바닥판		GRC형틀합성바닥판 FRP합성바닥판

\* 남흥건설주식회사 기획실장, 오오사카대학 공학학사

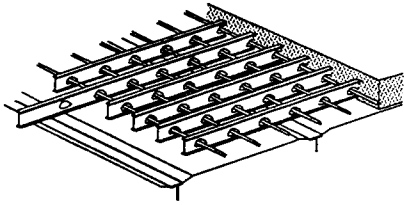
1.1.1 본편에서 대상으로하는 합성바닥판  
본편에서 대상으로하는 합성바닥판의 형식은  
이하의 2종류의 것으로 한다.

- 1) 강판과 철근콘크리트를 적당한 전단연결재  
로 결합한 것
- 2) 형강(形鋼)과 형틀 역할을 하는 강판을 접

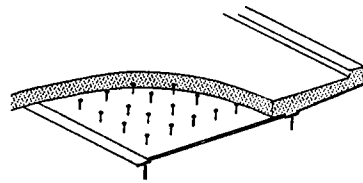
합해서 콘크리트를 충전한 것으로 한다.

1. 1. 2 그외의 합성바닥판 종류

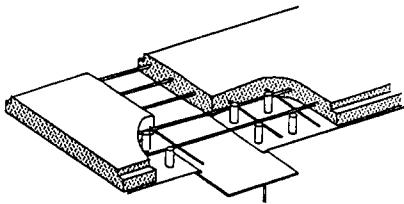
합성바닥판으로는 상기의 1.1.1에서 대상으로  
한 것 이외에 여러 가지가 있다. 그것에 대해서도  
본편의 설계흐름에 따라 행하면 설계 가능하다.



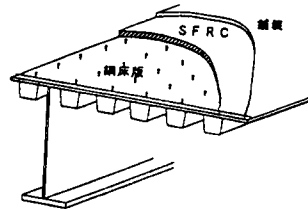
① I형강격자바닥판



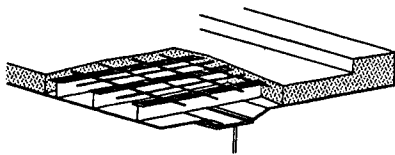
② 로빈슨형합성바닥판



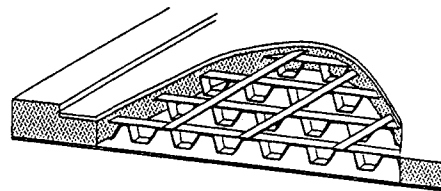
③ 파이프전단연결재합성바닥판



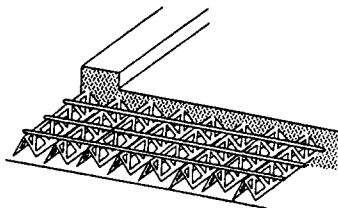
④ SFRC합성강바닥판



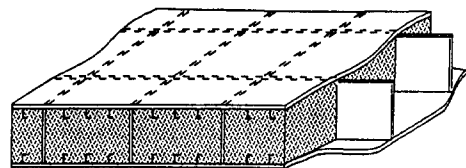
⑤ 돌기있는 T형강전단연결재합성바닥판



⑥ 트러스형전단연결재합성바닥판



⑦ 입체트러스형전단연결재합성바닥판



⑧ 샌드위치구조합성바닥판

그림 1.1 합성바닥판구조의 일례

제 2 장 재 료

2. 1 합성바닥판용의 강재

합성바닥판용의 강재는, JIS G 3101에 적합한 것으로하며, 강종은 SS400을 사용하는 것을 표준으로한다.

2. 2 합성바닥판용의 콘크리트

바닥판의 콘크리트는 압축강도의 특성치(설계기준강도)가 270kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 것을 사용하는 것으로한다.

2. 3 전단연결재

전단연결재는, JIS B 1198에서 규정되어 있는 스티드, JIS G 3101에 규정되어 있는 일반구조용 강재를 사용하는 것을 원칙으로 한다. 또한, 고장력볼트를 이용하는 전단연결재 등, 스티드 이외의 전단연결재에 대한 연구개발이 현재 진행 중이다. 어떤 경우에도, 충분한 강도와 내구성을 가지고 있는 재료를 사용해야 한다.

제 3 장 구조해석

판(版)의 설계단면력은 계수를 곱한 설계하중을 사용해서 적절한 선형이론에 기초를 둔 평판이론등을 사용한 해석에의해 구하는 것을 원칙으로한다.

제 4 장 재료 및 부재의 강도

4. 1 탄성계수의 비

강과 콘크리트의 탄성계수의 비는, n=10 또는 15로해도 좋다.

4. 2 단면의 저항치

- 1) 사용한계상태에 있어서, 바닥판 단면의 휨 저항치는 탄성해석에 의해 산출한다.
- 2) 강도한계상태에 있어서, 바닥판 단면의 휨 저항치는, 이하의 가정에 기초를 두어 산출을 해도 좋다.

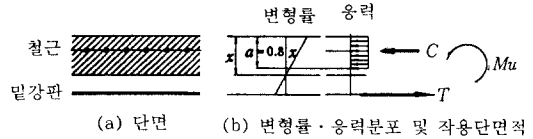


그림 4. 1 강도한계상태

- (a) 변형률은, 단면의 중립축으로부터 거리에 비례한다.
- (b) 콘크리트의 인장응력은 무시한다.
- (c) 콘크리트의 강도변형률 제한(0.0035이하)에 의해 저항 휨모멘트 Mu를 구한다.

강부재가 먼저 항복하는 경우

$$M_u = A_s f_y (d - a/2) \quad (4. 1)$$

콘크리트가 강도변형률에 도달하는 경우

$$M_u = 0.80 f'_{cd} b d^2 k_u (1 - 0.4 k_u) \quad (4. 2)$$

여기서,

$M_u$  : 강도휨모멘트(kgf · cm)

$A_s$  : 밑강판의 단면적 (cm<sup>2</sup>)

$f_y$  : 밑강판의 설계재료강도 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$d$  : 바닥판 상면으로부터 밑강판의 중심까지의 거리 (cm)

$a : 0.8 x$

$f'_{cd}$  : 콘크리트의 설계재료강도 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$b$  : 바닥판 단위폭 (cm)

$k_u$  : 중립축비 (=x/d)

4. 3 전단연결재의 강도

전단연결재는 하중작용에 의해 강판과 콘크리트간에 발생하는 전단력을 확실히 전달할 수 있도록하며, 콘크리트의 떠오름에 저항할 수 있는 강도를 가져야 한다.

제 5 장 한계상태

5. 1 강도한계상태의 조사

- 1) 콘크리트가 아직 굳어지지않은 상태의 강부

재가, 가설시 등의 적절한 하중에 대해서 강도한계상태를 조사해야 된다.

- 2) 콘크리트 경화후의 합성바닥판은, 고려해야 하는 하중에 대해서, 강도한계상태를 조사하는 것을 원칙으로 한다.

## 5.2 사용한계상태

사용한계상태에 있어서는, 이하의 각항을 조사하는 것을 원칙으로 한다.

- 1) 강부재의 항복
- 2) 주형간의 바닥판에 발생하는 활하중 처짐
- 3) 주형 상부에 발생하는 콘크리트의 균열

## 5.3 피로한계상태

피로한계상태에는 반복응력에 의한 안전성을 조사해야 한다.

## 제 6 장 구조상세

### 6.1 콘크리트의 최소두께

단순판 또는 연속판의 콘크리트 두께는 15cm이상으로 하는 것을 원칙으로 한다.

### 6.2 최소 강판두께

밀강판을 합성부재로 고려하는 경우, 강판 두께는 4.5mm 이상을 표준으로 한다.

### 6.3 철근 직경

사용하는 철근은 D13, D16, D19 및 D22를 표준으로 한다.

### 6.4 철근배치

최소 철근간격은 100mm로 하며, 최대 철근간격은 바닥판두께 또는 300mm이하를 표준으로 한다.

### 6.5 전단연결재 간격

전단연결재의 최소간격 및 최대간격은 전단연결재의 종류에 따라 결정한다.

### 6.6 전단연결재의 높이

정휨모멘트부에 있어서는 전단연결재 높이는,

그 상단이 콘크리트의 압축축에 위치하도록 결정하는 것을 표준으로 한다.

## 제 7 장 도로교의 강판·콘크리트 합성바닥판의 설계

### 7.1 설계의 기본

합성바닥판의 설계에 있어서는, 사용한계상태에 대해서 본장에 정한 설계휨모멘트가 단면의 설계휨강도를 초과하지 않는 것을 조사해야 한다. 또한, 전단연결재의 설계에 있어서는, 작용전단력이, 피로를 고려한 전단연결재의 설계전단강도를 초과하지 않도록 배치해야 한다.

### 7.2 탄성계수비의 설정

강과 콘크리트의 탄성계수비는  $n=10$ 으로 설정해도 좋다.

### 7.3 바닥판의 지간

- 1) 주철근의 방향이 차량진행방향과 직각인 경우, 단순판 및 연속판의 활하중 및 사하중에 대한 지간장은, 주형의 법선(法線)을 따라 측정된 거더중심간격으로 한다.
- 2) 주철근의 방향이 차량의 진행과 직각인 경우, 캔틸레바판의 활하중 및 사하중에 대한 지간장은, 지점이되는 거더의 플랜지 돌출폭의 1/2의 점부터, 거더의 법선방향으로 측정된 값으로 한다.

### 7.4 설계단면력

- 1) 1방향 합성바닥판의 도로교 활하중에 의한 설계휨모멘트는 표7-1 및 표7-2로서 산출해도 좋다.
- 2) 대형차의 통행대수가 적은 경우에는, 위표에서 산출한 설계휨모멘트의 값을 20%저감한 값으로해도 좋다.
- 3) 바닥판이 3본이상의 주형으로 지지되어, 거더의 휨강성의 차에 의해 발생하는 2차적인 휨모멘트가 무시할 수 없는 경우는, 그것을 고려해서 설계휨모멘트를 산출해야한다.

표7-1 도로교 활하중에 의한 총격을 포함한 설계 휨모멘트(tf·m/m)

구 분	종 류	적용기간	교축직각방향	교축방향
단순판	지간휨모멘트	$0 \leq L \leq 8$	$+(0.114L + 0.114)P$	$+(0.095L + 0.098)P$
연속판	지간휨모멘트	$0 \leq L \leq 8$	$+(\text{단순판의 } 80\%)$	$+(\text{단순판의 } 80\%)$
	지점휨모멘트		$-(\text{단순판의 } 80\%)$	-
켄틸레바판	지 점	$0 \leq L \leq 1.5$	$-PL/(1.30L + 0.25)$	-
	선단부근		-	$+(0.15L + 0.13)P$

여기서, L : 바닥판 지간 (m) P : 계수가 곱해진 1바퀴(輪)분의 하중 (=1.7×10tf)

표7-2 사하중에 의한 설계 휨모멘트(tf·m/m)

구 분	종 류	적용기간	교축직각방향	교축방향
단순판	지간휨모멘트		$+wL^2/8$	무시해도 좋다
연속판	지간휨모멘트	단지간	$+wL^2/10$	
		중간지간	$+wL^2/14$	
	지간휨모멘트	2지간	$+wL^2/8$	
		3지간이상	$+wL^2/10$	
켄틸레바판	지점휨모멘트		$+wL^2/2$	

여기서, L : 바닥판 지간 (m) w : 계수가 곱해진 등분포사하중 (tf/m<sup>2</sup>)

4) 전단연결재의 설계에 사용하는 전단력은 다음 식을 사용해서 산출한다.

$$S = k(0.011L + 0.747) P \quad (7. 1)$$

여기서,

k : 전단연결재의 형식에 의해 결정되는 하중작용의 분담률

스터드의 경우, k=0.50

충분한 강성을 가지는 전단연결재의 경우, k=1.00

L : 바닥판지간 (m)

P : 활하중의 1輪분의 하중 (=10tf)

(해설) 합성바닥판의 전단연결재에 작용하는 전단응력도는, 완전합성작용을 전제로 한 경우, 판에 작용하는 전단력으로부터 일반적으로 다음과 같이 계산되어진다.

$$\tau = \frac{SQ}{I} \frac{p}{nA_s}$$

여기서,

$\tau$  : 스테드의 전단응력도(kgf/cm<sup>3</sup>)

S : 작용전단력(kgf/m)

Q : 합성바닥판의 중립축(전단면유효)에 대한 강판의 단면1차모멘트(cm<sup>3</sup>/m)

I : 합성바닥판의 중립축(전단면유효)에 대한 강판의 단면2차모멘트(cm<sup>4</sup>/m)

p : 가정한 전단력방향의 스테드간격(cm)

n : 가정한 전단력과 직각방향의 1m당 스테드분수

A<sub>s</sub> : 스테드1본의 단면적(cm<sup>2</sup>)

그러나, 스테드의 강성은 비교적 적으며, 불완전합성구조로서 평가하는 것이 타당하다는 것이 실험등에 의해 확인되었다. 그렇기 때문에, 윗식에 따라 스테드 배치를 행하면, 과도한 설계결과를 낳는 것이다. 그래서, 실험등에 의해 구해진 스테드의 스프링 상수를 사용해서 모델화한 수치 해석 결과를 토대로 스테드의 저감계수(하중 작용의 분담률)를 설정했다. 그리고 이방성 정도가 높은 전단연결재를 사용하는 경우에는 합성바닥

판이 이방성 거동을 행하는 등에 의해, 여기서 전제하는 조건과 일치하지 않는 바닥판 구조에서는 적당한 판해석에 의해서 설계, 전단력을 산정해야 한다. 강판·콘크리트 합성판의 층상화 유한요소모델에 의해 전달되는 전단력을 검토했다. 그 결과, 완전합성모델 및 환산합성판모델의 판해석을 함께 아래 그림에 나타낸다.

### 7.5 콘크리트의 최소두께

단순판 또는 연속판의 콘크리트 두께는, 아래 식에서 구해지는 값 또는 15cm 이상이어야 한다.

$$h_c = 2.5L + 10 \quad (7.2)$$

여기서,

$h_c$  : 콘크리트부의 최소두께 (cm)

$L$  : 바닥판지간 (m)

### 7.6 최소강판두께

밀강판을 합성부재로 사용할 경우, 강판 두께는 mm 이상을 표준으로 한다.

### 7.7 사용한계상태의 조사

사용한계상태에 있어서의 콘크리트 및 강판의 한계상태의 조사는 아래와 같이 행하는 것으로 한다.

강부재에 대해서:

$$\frac{M_{sd1}}{M_{ys}} + \frac{M_{sd2} + M_{si}}{M_{yv}} \leq 1 \quad (7.3)$$

콘크리트에 대해서:

$$\frac{M_{sd2} + M_{si}}{M_{yv}} \leq 1 \quad (7.4)$$

여기서,

$M_{sd1}$  : 계수가 곱해진 합성전 사하중에 대한 강부재의 설계휨모멘트 (tf·m)

$M_{sd2}$  : 계수가 곱해진 합성후 사하중에 대한 강부재의 설계휨모멘트 (tf·m)

$M_{si}$  : 계수가 곱해진 합성후 활하중에 대한 강부재의 설계휨모멘트 (tf·m)

$M_{ys}$  : 합성전 강부재의 압축축 또는 인장축에 대한 설계휨강도 (tf·m)

$$M_{ys} = \Phi f_y W_s \quad (7.5)$$

여기서

$W_s$  : 합성전 강부재의 단면계수 (m<sup>3</sup>)

$\Phi$  : 부재강도계수 (강인 경우  $\Phi=1.0$ , 콘크리트인 경우  $\Phi=0.56$ )

$M_{yv}$  : 합성후 부재의 압축축 또는 인장축에 대한 저항휨모멘트 (tf·m)

강부재에 대해서 :  $M_{yv} = \Phi f_y W_v \quad (7.6)$

콘크리트에 대해서 :  $M_{yv} = \Phi f_{ca} W_v \quad (7.7)$

여기서,

$W_v$  : 합성후 부재의 단면계수 (m<sup>3</sup>)

$f_y$  : 밀강판의 설계재료강도 (tf/m<sup>2</sup>)

$f_{ca}$  : 콘크리트의 설계재료강도 (tf/m<sup>2</sup>)

### 7.8 전단연결재의 설계

- 1) 전단연결재에는 스테드와 적절한 가공을 한 형강을 사용하는 것을 표준으로 한다.
- 2) 스테드를 전단연결재로 사용하는 경우는,  $\Phi 16$  및  $\Phi 19$ 를 표준으로 한다.
- 3) 스테드의 배치는, 식(7.7)을 만족하도록 결정해야 한다.

$$\frac{Q}{Q_r} \leq 1 \quad (7.8)$$

여기서,

$Q$  : 판의 전단력으로부터 구한 스테드 1본에 작용하는 설계전단력 (tf)

$Q_r$  : 식(7.8)으로 구한 스테드1본의 전단강도 (kgf)

$$Q_r = \Phi A_d \tau_r \quad (7.9)$$

$\Phi$  : 스테드의 피로전단파괴에 대한 부재강도계수 (=1.0)

$A_d$  : 스티드 줄기의 단면적 ( $\text{cm}^2$ )  
 $\tau_f$  : 스티드의 피로강도 ( $=500\text{kgf}/\text{cm}^2$ )

7.9 부재의 연결

- 1) 부재의 연결부는, 강도한계상태 또는 피로한계상태를 조사하면서 설계하는 것을 원칙으로 한다.
- 2) 현장접합부는 작용력에 대해서 설계하는 것을 표준으로 한다.

7.10 구조상세

7.10.1 철근직경

철근은 D13, D16, D19 및 D22를 표준으로 한다.

7.10.2 철근배치

최소 철근간격은 100mm로 하며, 최대 철근간격은 바닥판 두께 또는 200mm이하를 표준으로 한다.

7.10.3 절단연결재 간격

스티드의 최소간격은 100mm로 하며, 최대간격은 250mm 또는 바닥판콘크리트두께의 1.5배 이하로 하는 것을 표준으로 한다.

7.10.4 전단연결재의 높이

전단연결재의 높이는, 그 상단이 정휨모멘트부에 있어서의 콘크리트의 압축축에 위치하도록 결정하는 것을 표준으로 한다.

제 8 장 맺음말

현재 일본의 합성구조물의 설계에 관한 기준서는 토목학회 『강구조물의 극한강도와 설계』와 철도종합기술연구소의 『철도구조물동설계표준·동해설(강·합성구조물)』이 있다. 그리고, 토목학회·강구조위원회·강구조 극한강도 연구소 위원회에서 합성구조물의 극한강도 분과회를 조직해서, 한계상태설계법의 포맷에 따라 합성구조물의 설계지침서를 금년 여름경에 출판 할 예정이다. 본인도 합성구조물의 극한강도 분과회의 위원으로 약3년간동안 많은 공부와 연구를 행할 수 있는 기회를 받았다. 합성구조물의 설계지침서는 합성바닥판, 합성거더와 합성기둥으로 나누어져있으며, 이번에 소개한 부분은 그중 일부분인 합성바닥판의 강판과 철근콘크리트를 적당한 전단연결재로 결합한 합성바닥판의 설계부분이다. 본 설계규정에 대해 약10년간의 실험과 해석을 행한 내용과 결과에 대하여 될수 있는한 언급하고 싶었지만 단순하게 일본의 합성 바닥판의 소개만으로 끝나는 것이 아쉬움으로 남는다. 