

橋工学:授業の目的

- 橋の設計・施工に関する
基本的な考え方を学習する.
- 特に, 道路橋の上部工(鋼製橋桁)の
設計について学習することに主眼をおく.

橋工学:達成目標

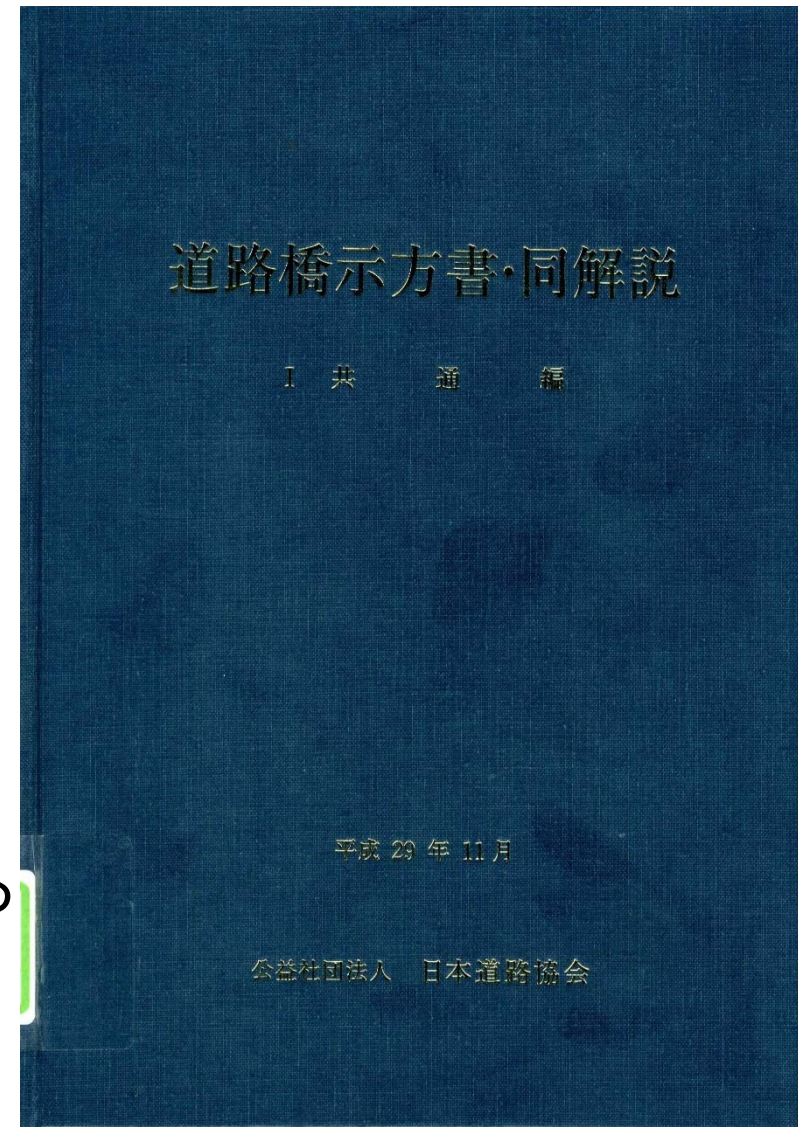
1. 橋の基本的機能と構成を説明できること.
2. 道路橋の設計における基本的な考え方と手順を説明できること.
3. 単純な道路橋上部工（鋼製橋桁）について具体的な設計作業が行えること.

関連する学習・教育到達目標

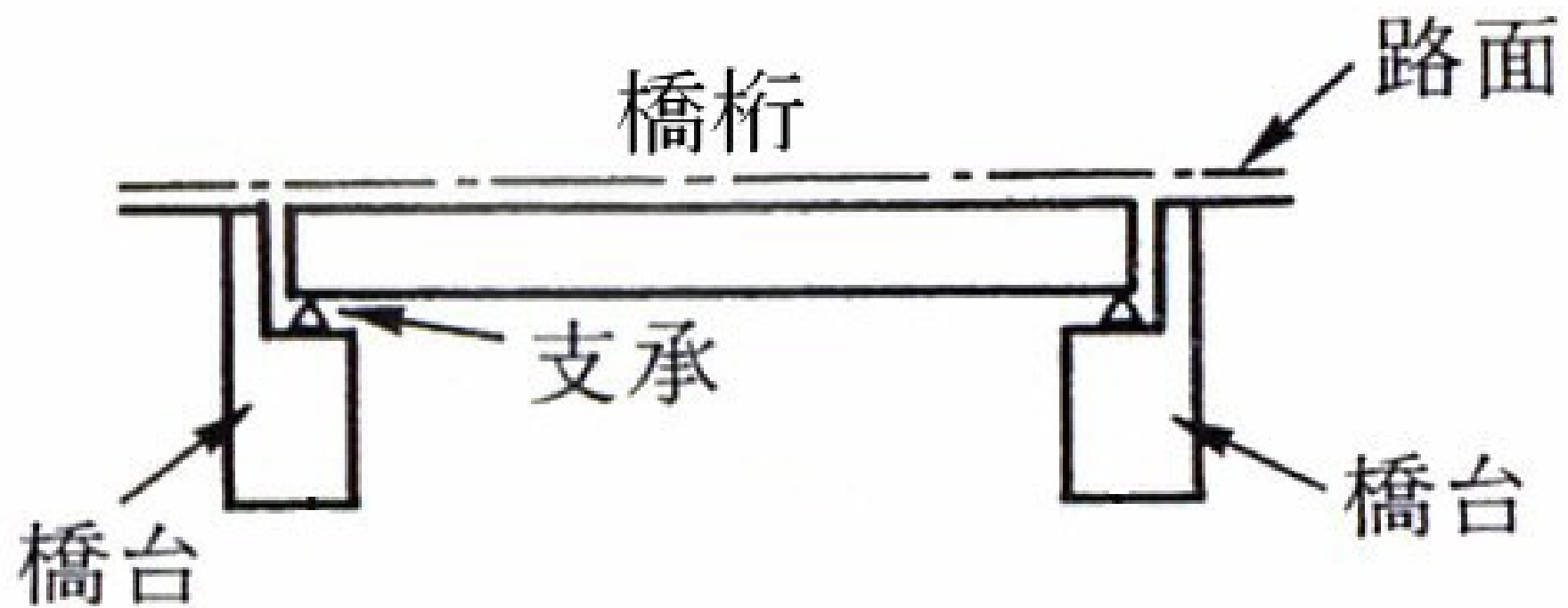
(H) 社会基盤の整備に対する基本的理論と
応用的な技術を習得する

この授業の対象

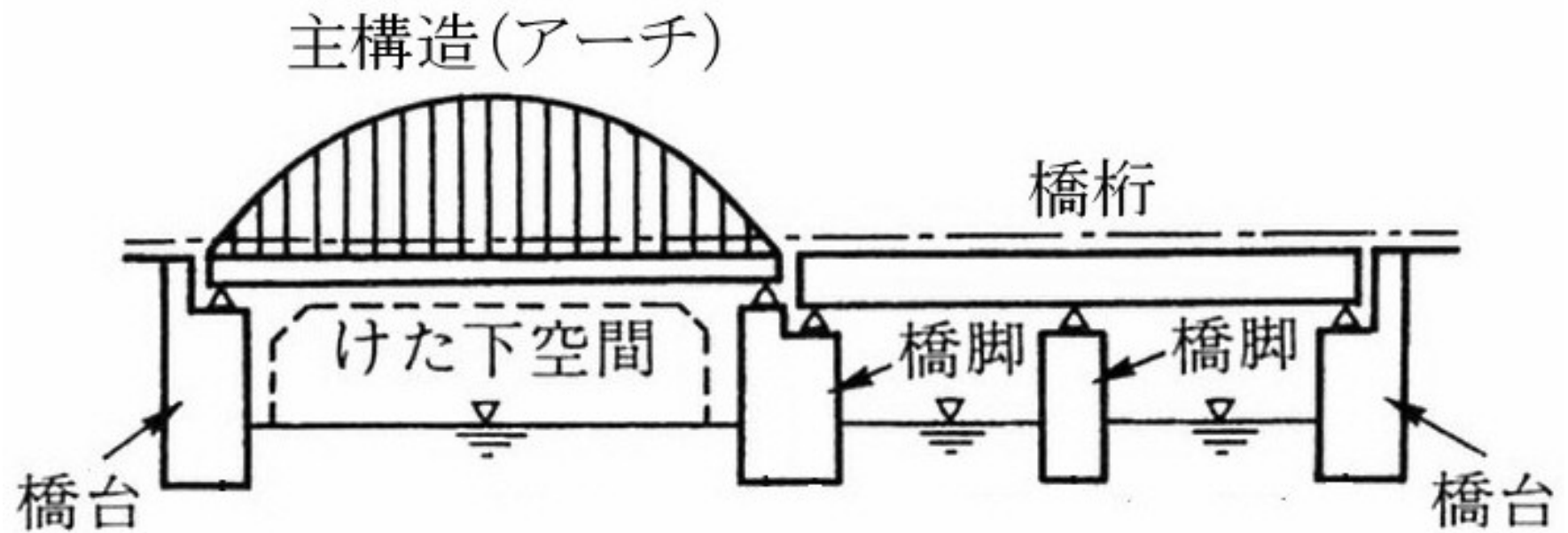
- 道路橋（鋼橋）
- 設計基準
 - ：道路橋示方書（道示）
 - 平成5年の改訂：
 - ・活荷重（自動車荷重）
 - 平成29年の改訂：
 - ・許容応力度設計法から部分係数設計法へ



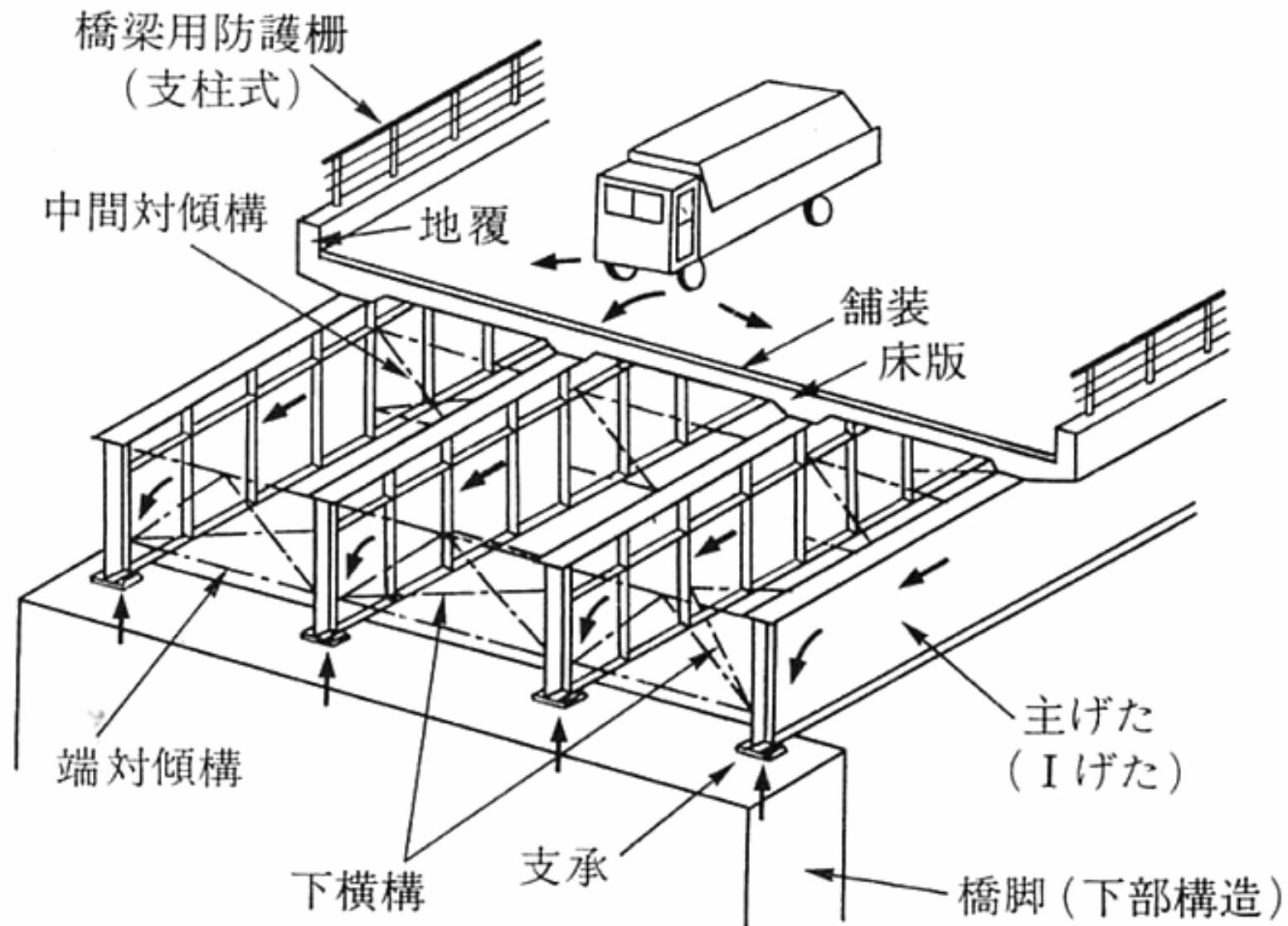
橋の構成



橋の構成



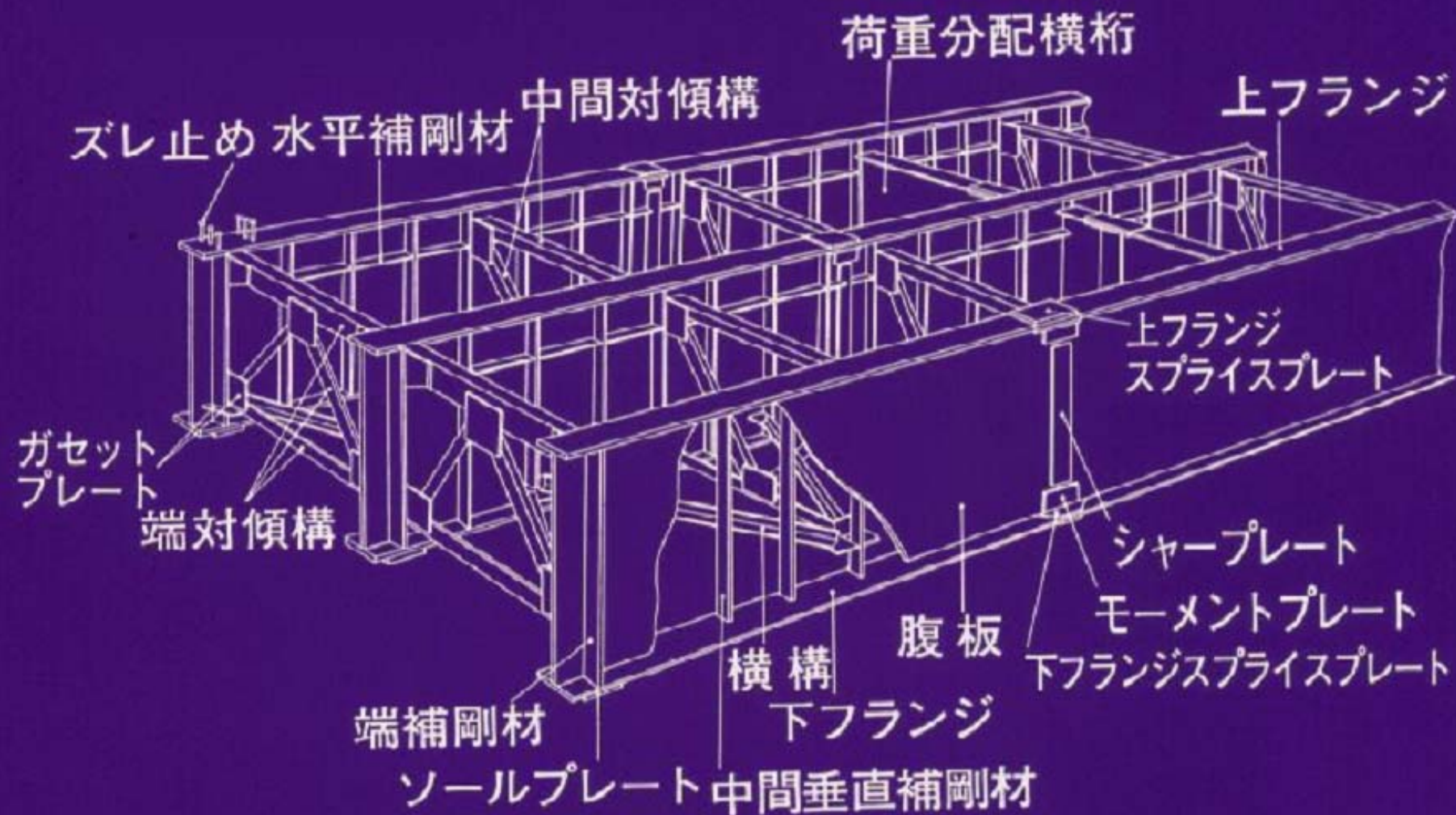
橋の構成(I桁橋)



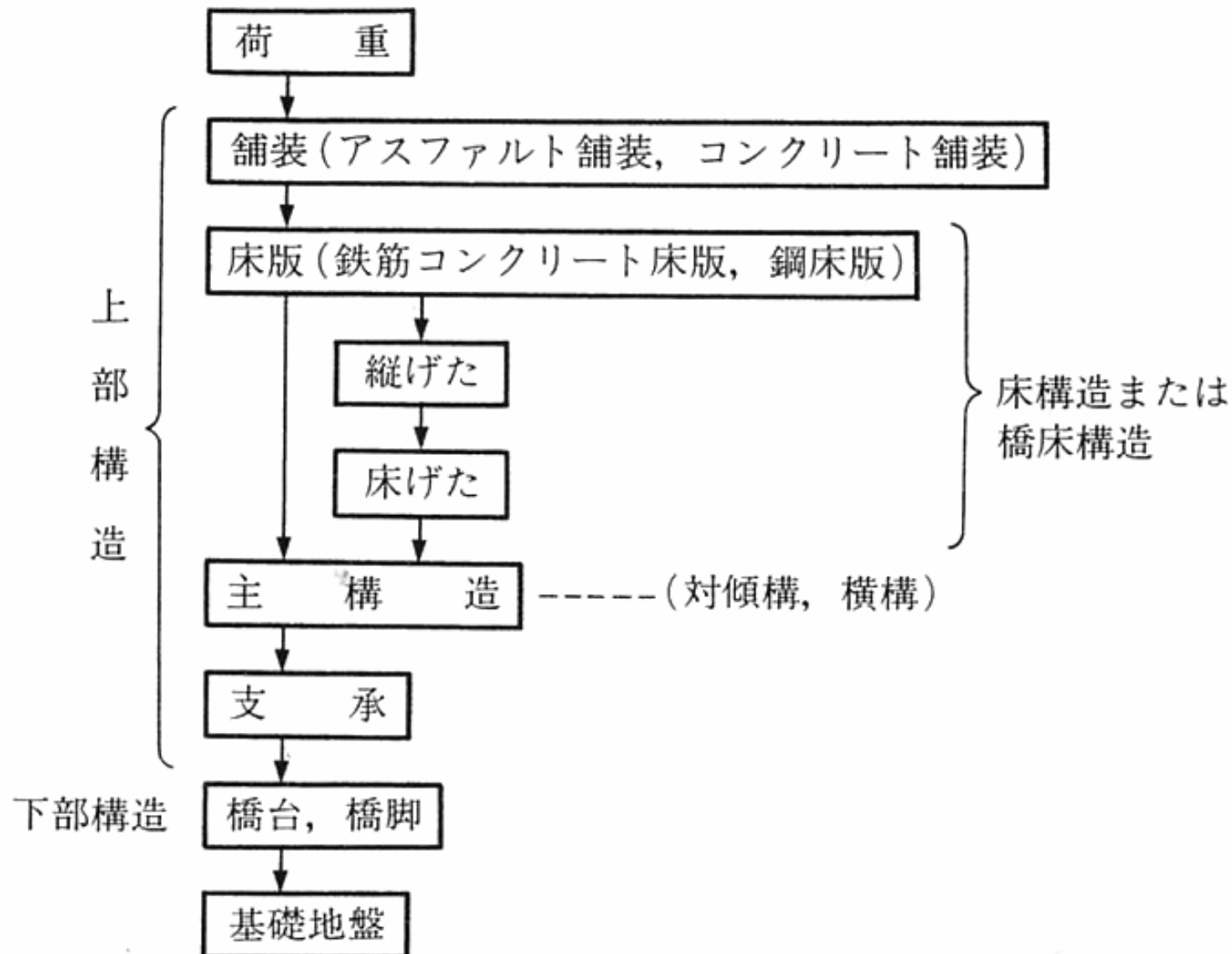
I桁橋



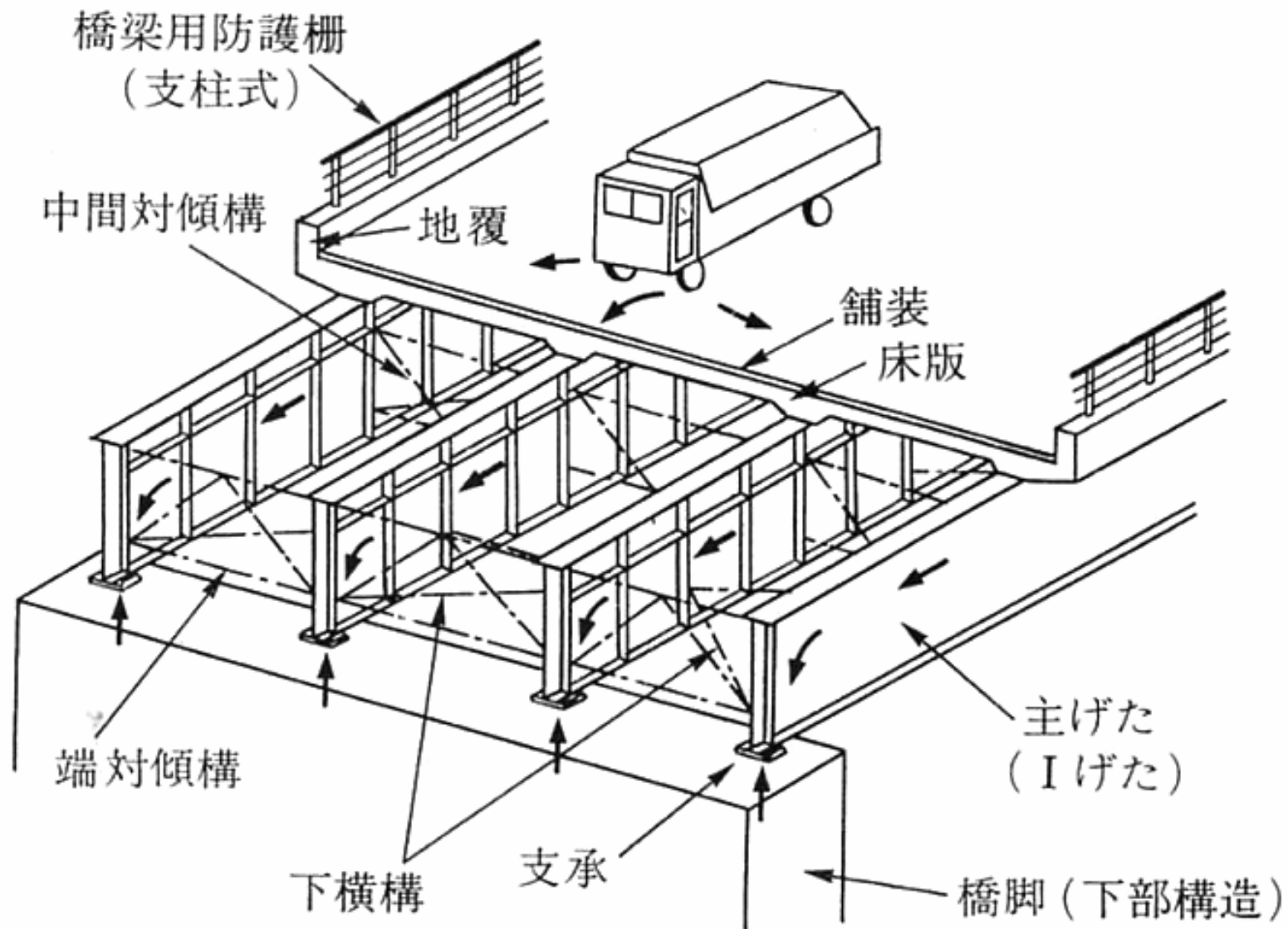
I桁構造図



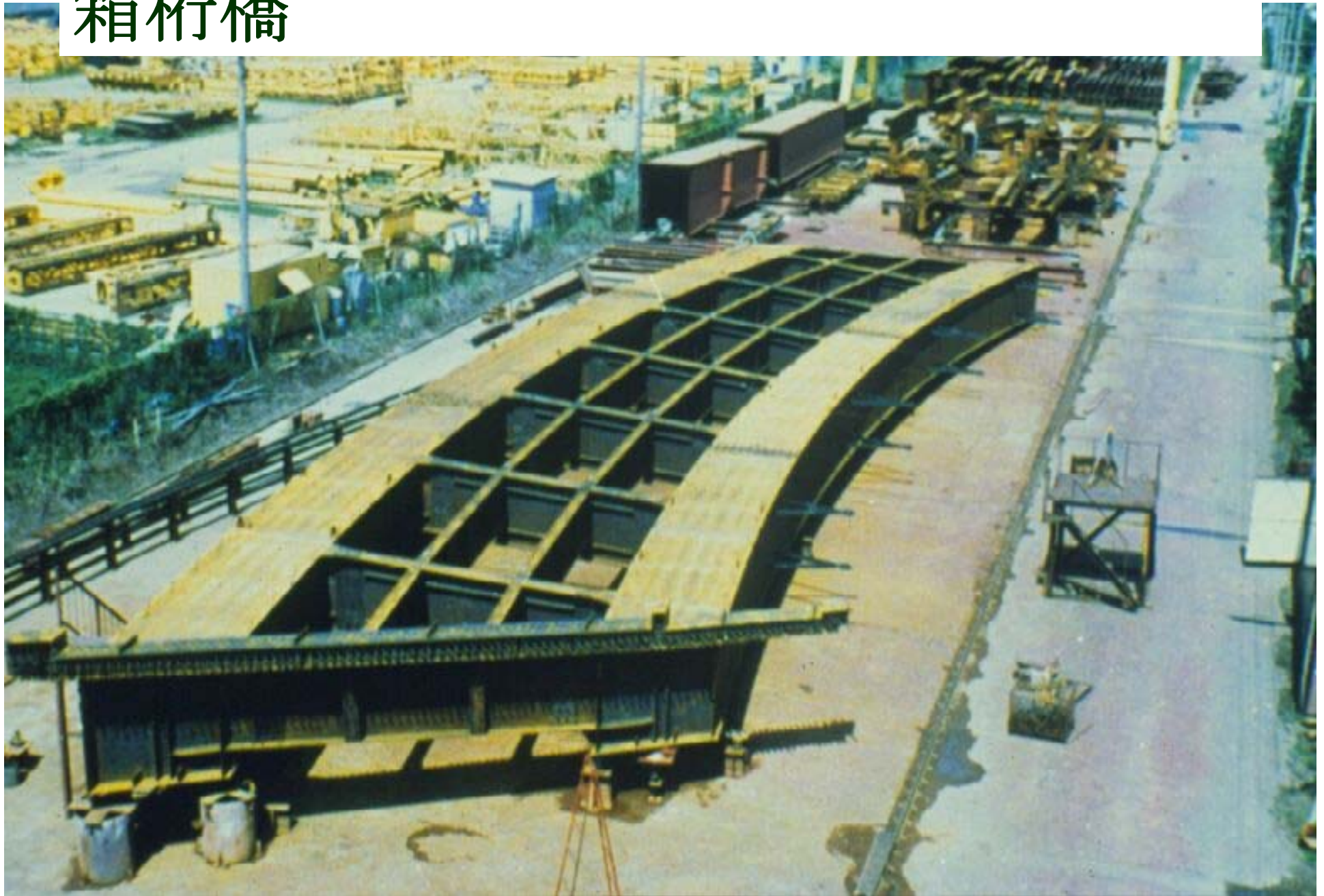
橋の構成と荷重伝達経路



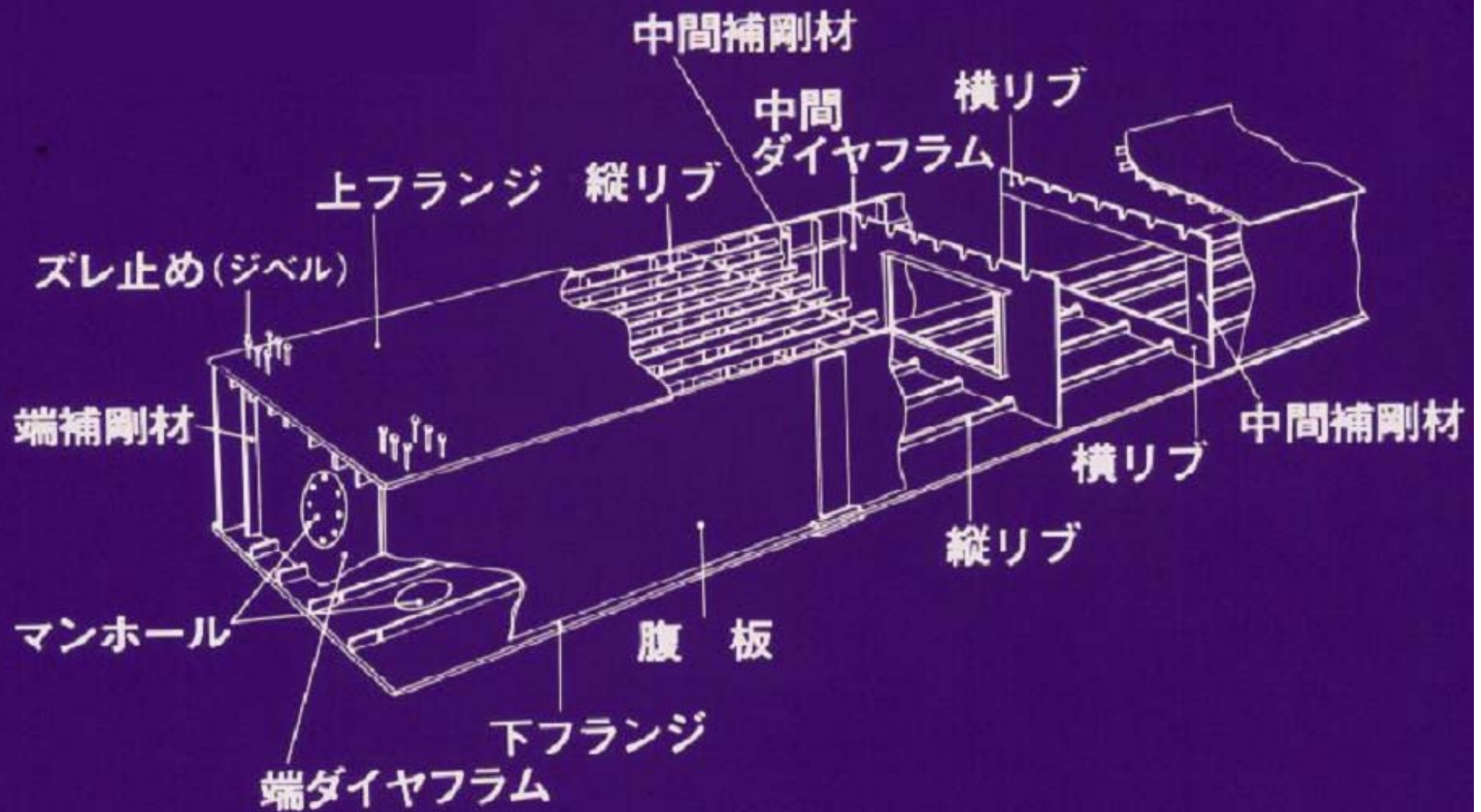
荷重伝達経路 (I桁橋)



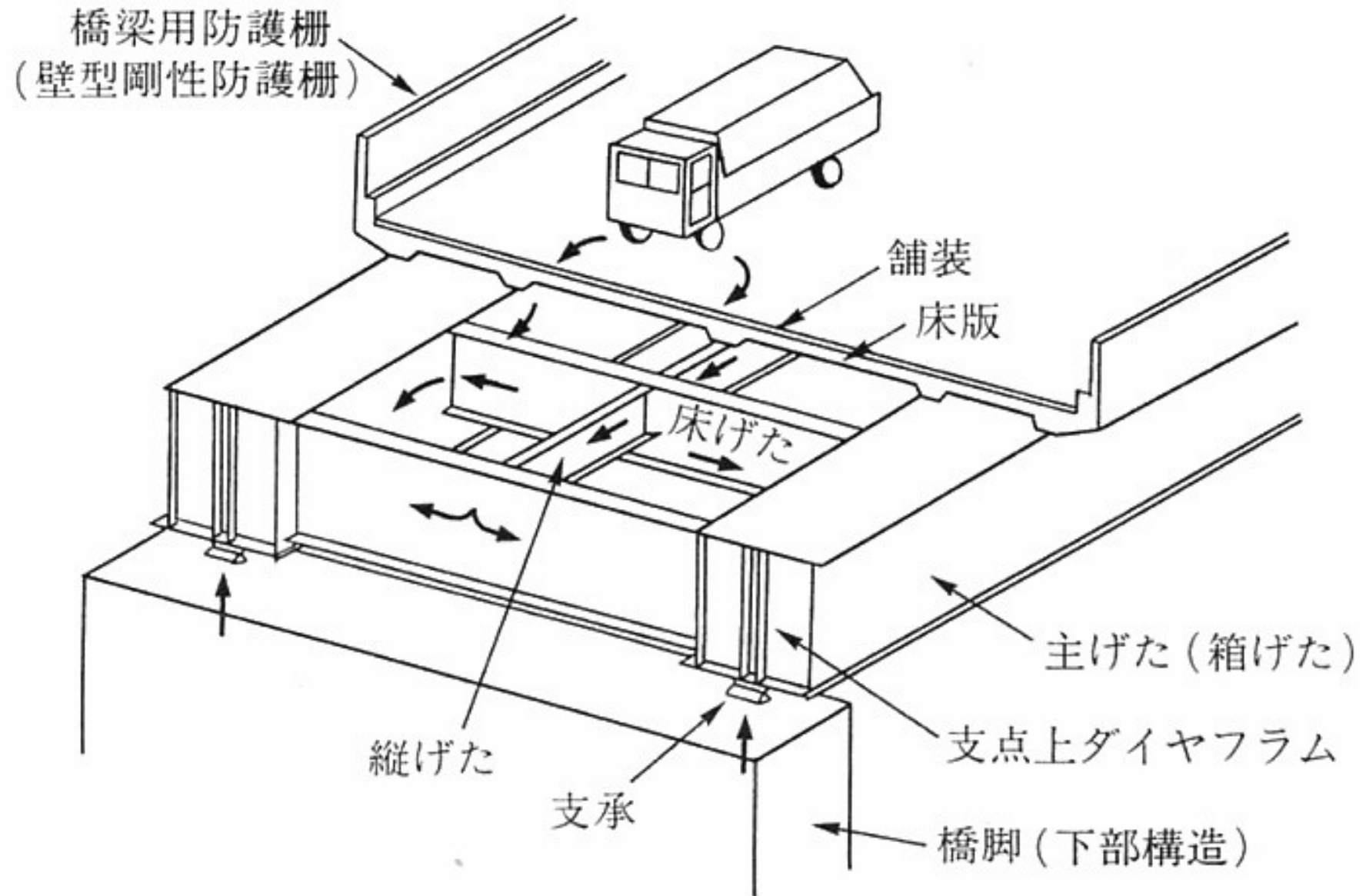
箱桁橋



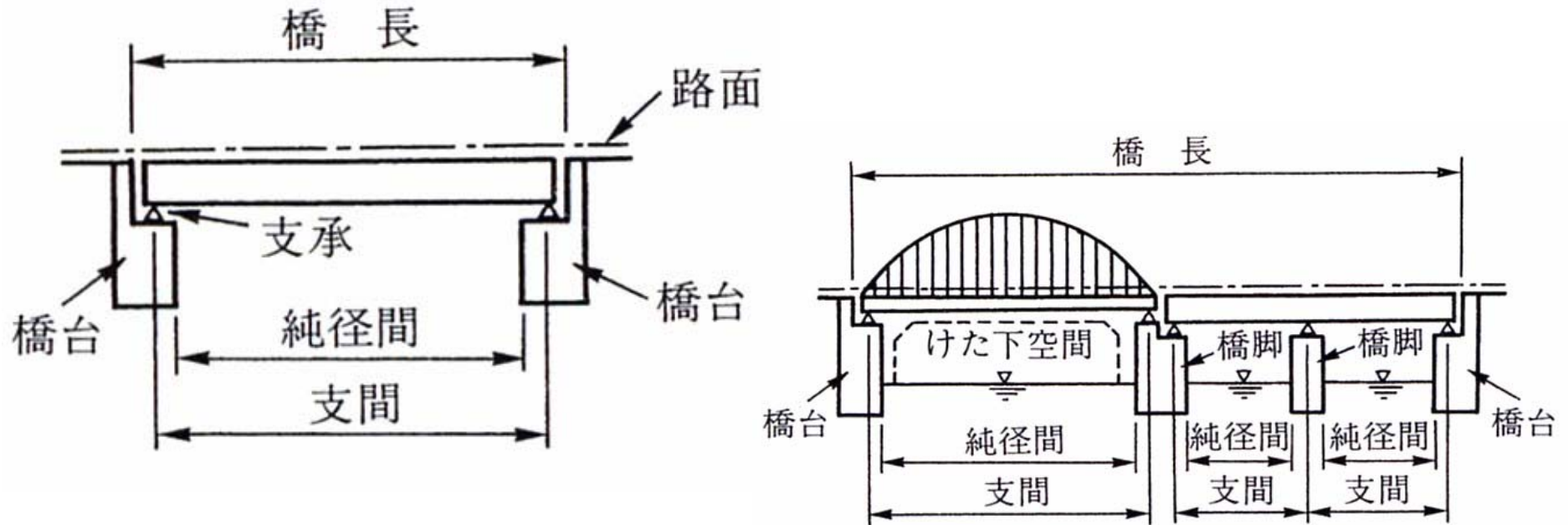
箱桁構造図



荷重伝達経路(箱桁橋)

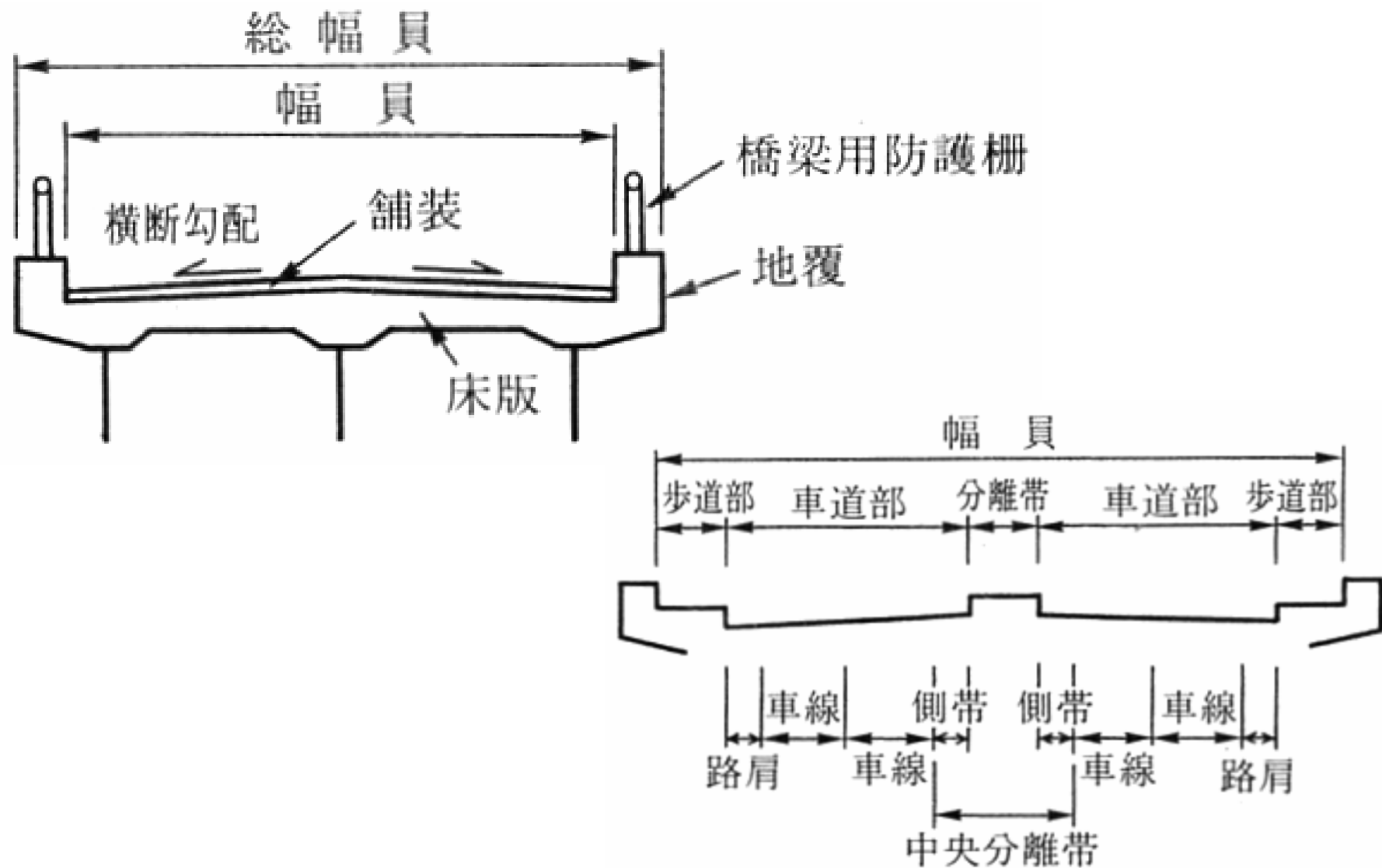


橋の寸法(長さ)



- 橋長：道路としての長さ
- スパン（支間）：構造力学的な長さ
- 純スパン：桁下空間の長さ

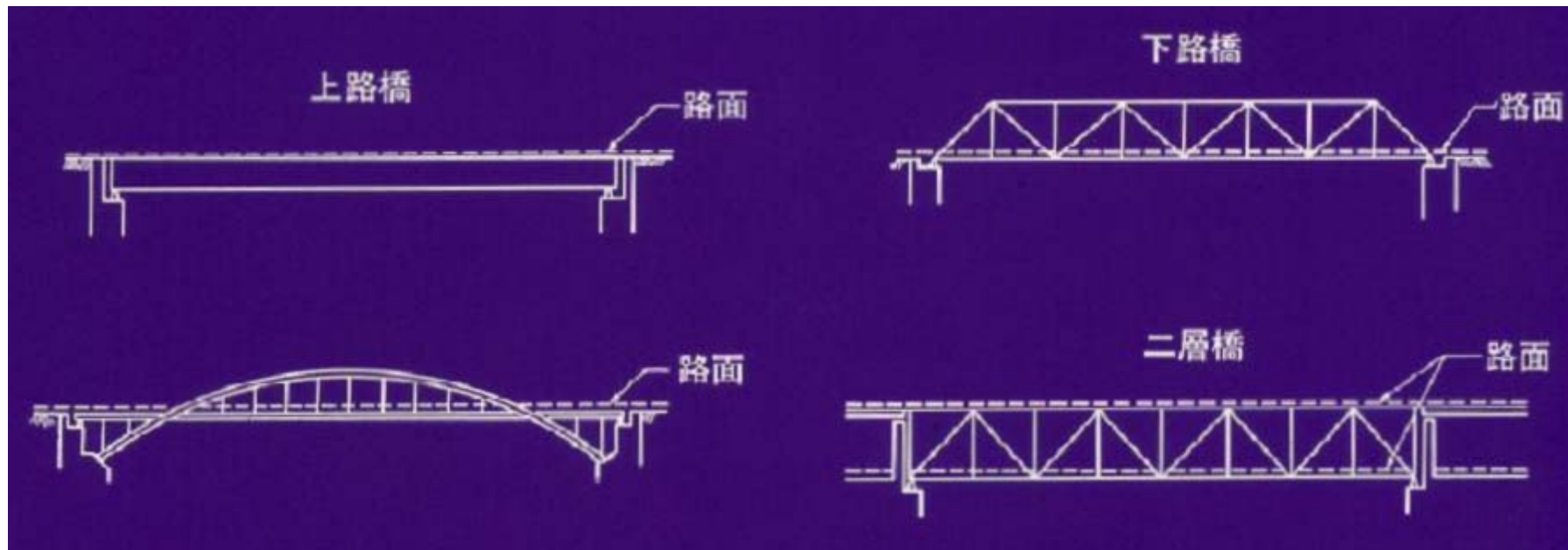
橋の寸法(幅)



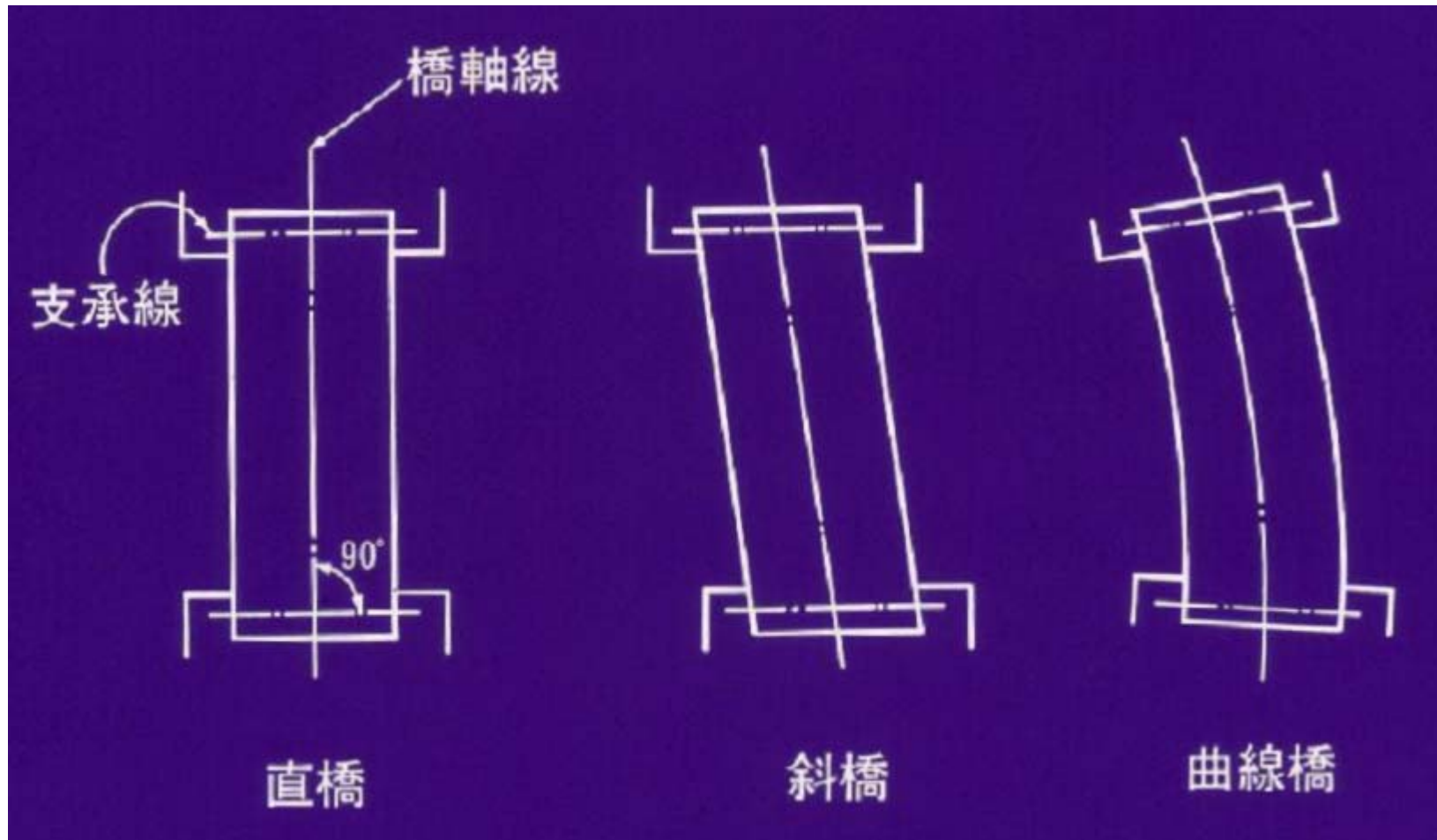
橋の分類

用途による分類	道路橋・鉄道橋・水路橋・併用橋
架橋地点による分類	陸橋・高架橋・跨水橋等
使用材料による分類	鋼橋・コンクリート橋・木橋・石橋
路面の位置による分類	上路橋・中路橋・下路橋・二層橋
平面形状による分類	直橋・斜橋・曲線橋
支持方法による分類	単純橋・連続橋・ゲルバー橋
構造形式による分類	桁橋・トラス橋・アーチ橋等

路面位置による分類



平面形状による分類



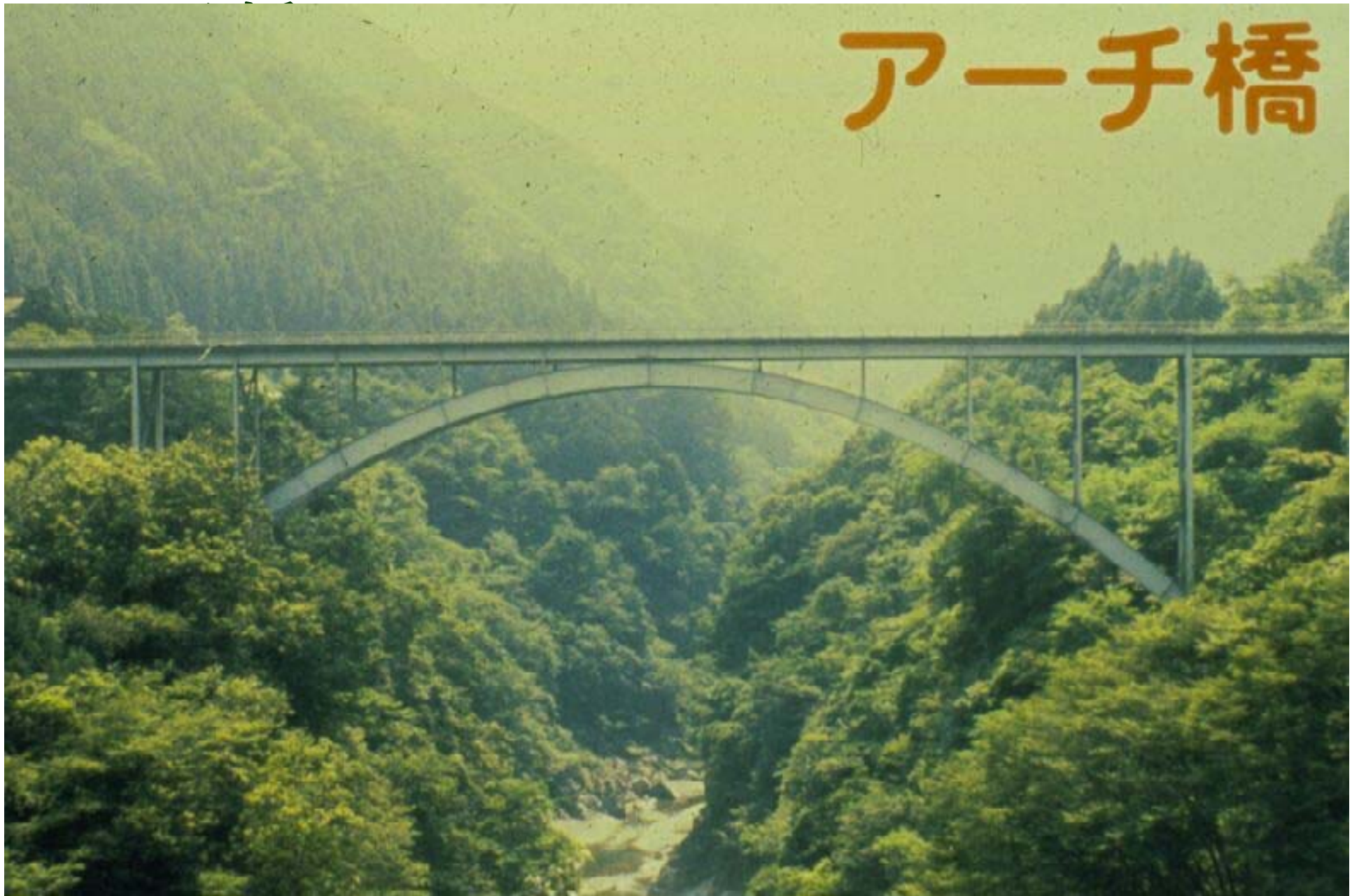
桁橋



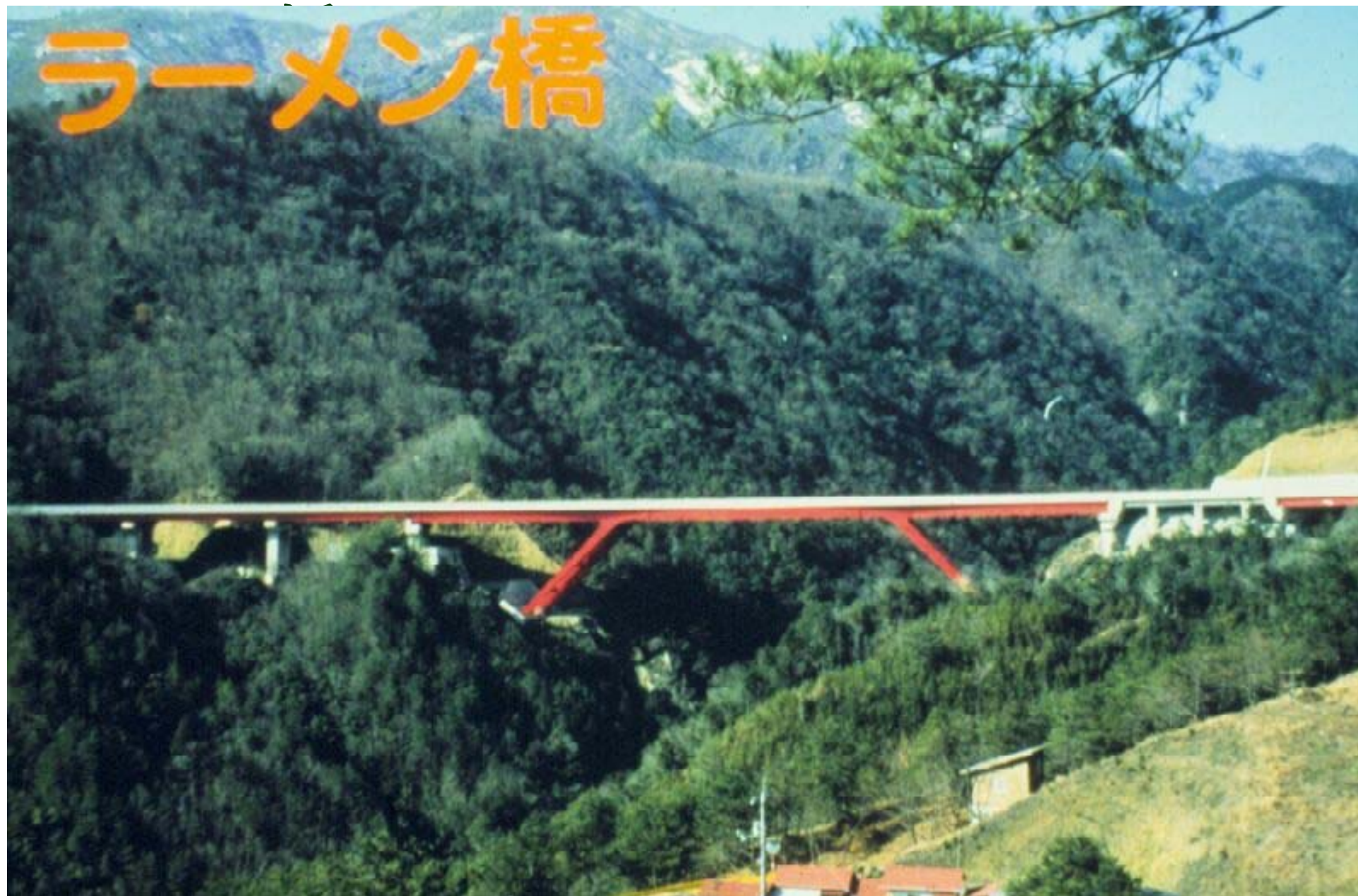
トラス橋



アーチ橋



ラーメン橋



斜張橋



吊橋



吊床版橋



吊床版橋



吊床版橋



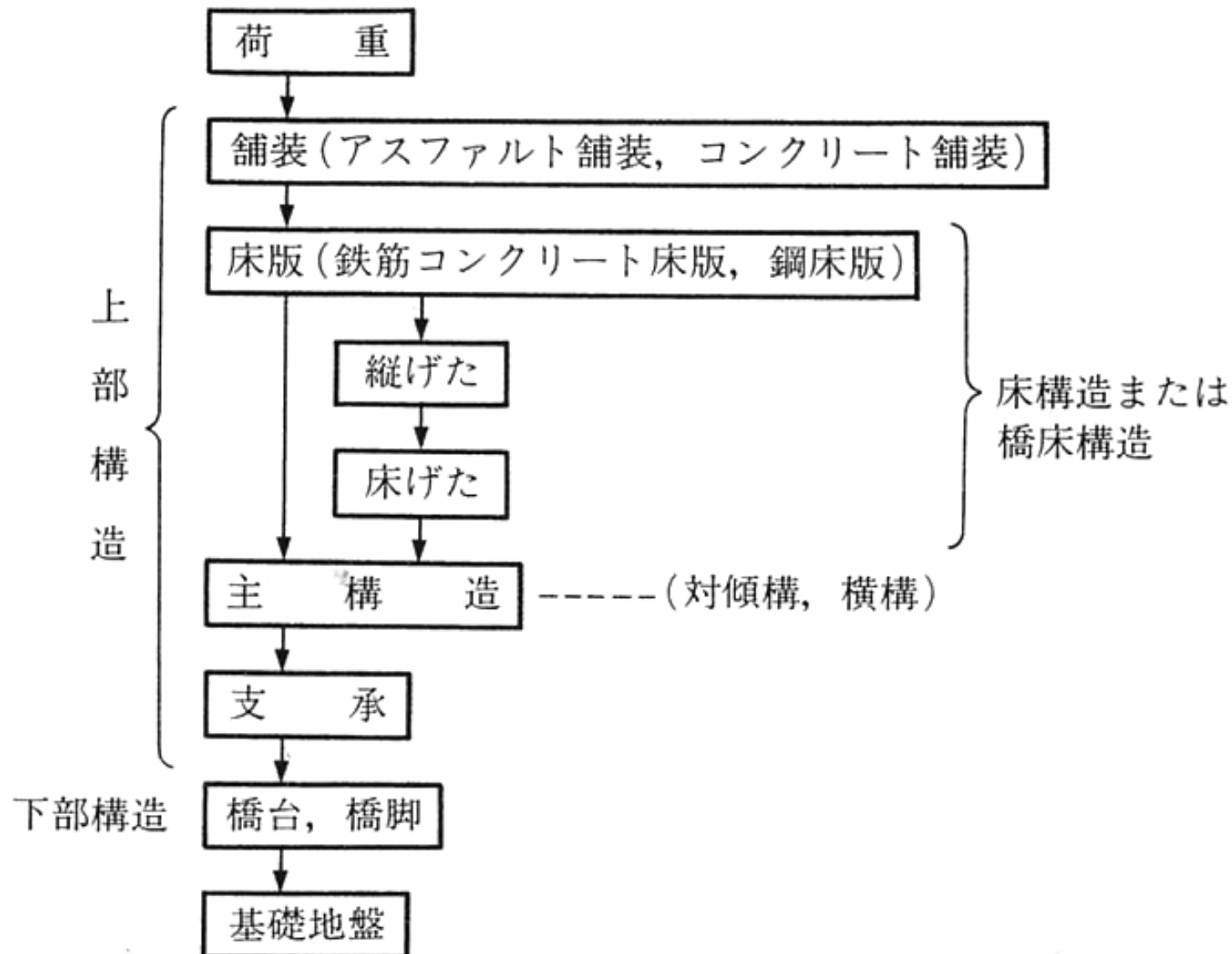
水輝橋（熊本県水上村）



吊床版橋



橋の設計: 荷重伝達経路の順番に



荷重:橋に作用する力

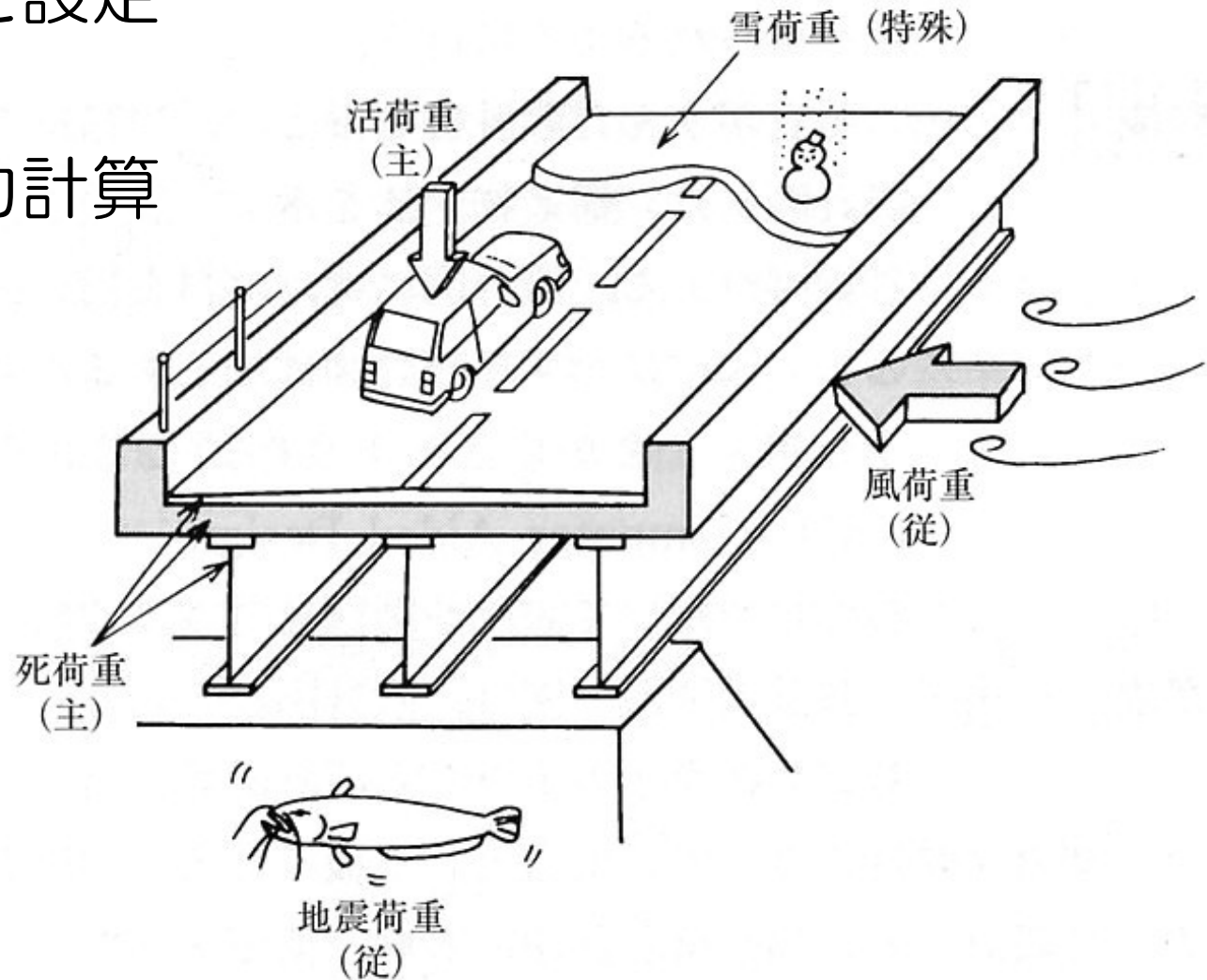
- まず、荷重を設定



- 断面力，応力計算



- 安全性照査



H29道路橋示方書の主な改訂点

- 許容応力度設計法から部分係数設計法へ
 - 性能評価設計：限界状態設計法
 - ・ 設計状況を想定して
耐荷性能（限界状態を超えない）を評価
 - 設計状況の想定方法の変更
 - ・ 「荷重」から「作用」へ
 - ・ 作用：断面力や変形等の状態変化を
部材に生じさせる働き（より一般的）
 - ・ 荷重：作用を力に変換したもの
 - ・ 作用（荷重）の区分と組み合わせも変更

橋の設計(耐荷性能照査)

- 許容応力度設計法 (従来)

- $\sigma \leq \sigma_a / \gamma$: 作用応力度 $\leq$ 許容応力度 / 安全率

- 部分係数設計法 (H29道示より)

- $\sum S_i (\gamma_{pi} \gamma_{qi} P_i) \leq \xi_1 \xi_2 \Phi_R R$

- S_i : 作用効果 (応力とは限らない)

- 荷重組み合わせ $\times$ 荷重のバラツキ $\times$ 作用特性値

- 制限値 $= \xi_1 \xi_2 \Phi_R R$ (限界状態の判定値)

- 調査・解析 $\times$ 部材・構造 $\times$ 抵抗係数 $\times$ 抵抗特性値

限界状態設計法

- 耐震設計の考え方を作用（荷重）全般に拡張
 - 限界状態1：健全性が損なわれない（弾性域）
 - 限界状態2：限定的損傷（塑性域）
 - 限界状態3：致命的（崩壊）までは至らない

設計地震動		A種の橋	B種の橋
レベル1地震動 （高頻度：変動作用）		健全性を損なわれない （耐震性能1）	
レベル2地震動 （非常にまれ： 偶発作用）	タイプⅠ地震動 （プレート境界型）	致命的とは ならない （耐震性能3）	限定的な損傷 （耐震性能2）
	タイプⅡ地震動 （内陸直下型）		

荷重の種類(従来)

- 主荷重：常時作用する基本的な荷重
 - 死荷重，活荷重（＋衝撃），プレストレス力，コンクリートのクリープ・乾燥収縮の影響，土圧，水圧，浮力または揚力
- 従荷重：突発的な荷重
 - 風荷重，温度変化の影響，地震の影響
- 主荷重に相当する特殊荷重
 - 雪荷重，地盤変動の影響，支点移動の影響，波圧，遠心荷重
- 特殊荷重：特殊条件下の荷重
 - 制動荷重，施工時荷重，衝突荷重

作用の種類(H29道示)

- 永続作用：常時作用
 - 死荷重，プレストレス力，クリープ・乾燥収縮，土圧，地盤変動，支点移動など
- 変動作用：しばしば発生
 - 活荷重（＋衝撃），温度変化，地震（L1），土圧，水圧，雪，遠心，制動，風荷重など
- 偶発作用：ごくまれに発生
 - 地震（L2），衝突荷重
- 作用ごとのバラツキや作用の組み合わせを考慮

作用の分類

	永続作用	変動作用	偶発作用
1) 死荷重(D)	○		
2) 活荷重(L), 3) 衝撃(I)		○	
4) PS, 5) クリーブ, 6) 乾燥収縮	○		
7) 土圧(E)	○	○	
8) 水圧 (HP) , 9) 浮力 (U)	(○)	○	
10) 温度変化, 11) 温度差, 12) 雪荷重		○	
13) 地盤変動, 14) 支点移動	○		
15) 遠心, 16) 制動, 17) 風, 18) 波圧		○	
19) 地震 (EQ)		○ (L1)	○ (L2)
20) 衝突荷重(CO)			○

荷重組合せ係数 γ_p と荷重係数 γ_q

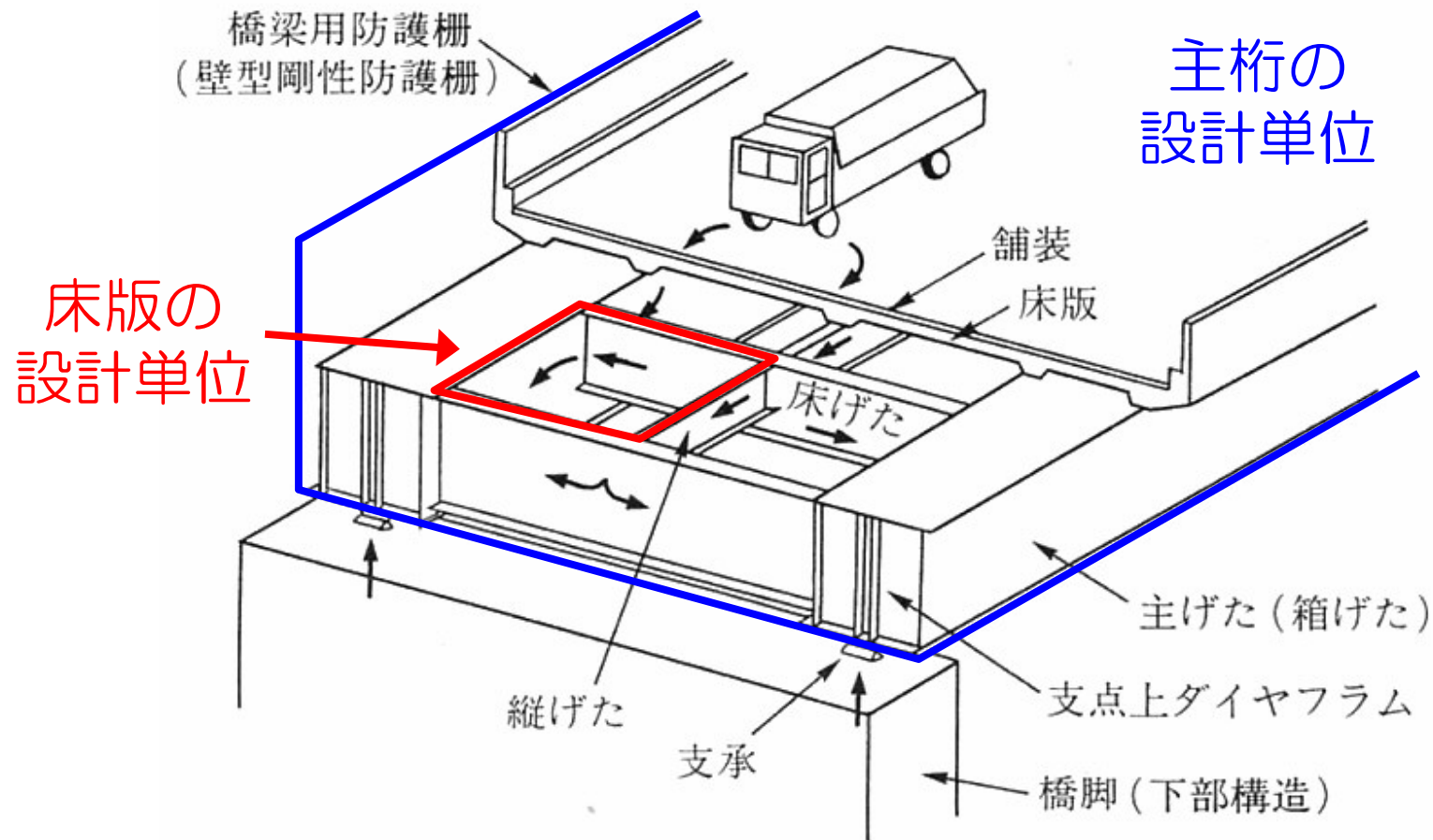
作用の組み合わせ		設計状況 の区分	D		L		...
			γ_p	γ_q	γ_p	γ_q	...
1	死荷重(D)	永続作用 支配状況	1.00	1.05	-	-	...
2	D+活荷重(L)	変動作用 支配状況	1.00	1.05	1.00	1.25	...
3	D+温度変化(TH)		1.00	1.05	-	-	...
4	D+TH+風(WS)		1.00	1.05	-	-	...
5	D+L+TH		1.00	1.05	0.95	1.25	...
⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	...
10	D+地震(EQ)		1.00	1.05	-	-	...
11	D+地震(EQ)	偶発作用 支配状況	1.00	1.05	-	-	...
12	D+衝突(CO)		1.00	1.05	-	-	...

死荷重：橋の自重（固定荷重）

- 路面：容易に算定可能
 - 床版（舗装等も含む）
 - 付属物（高欄，照明柱，伸縮継手など）
 - 構造部材：
 - 床組
 - 主桁（横構，対傾構なども含む）
- ※ 荷重 ⇔ 材質や寸法
互いに依存
- 最初は仮定 ⇒ 繰り返し計算

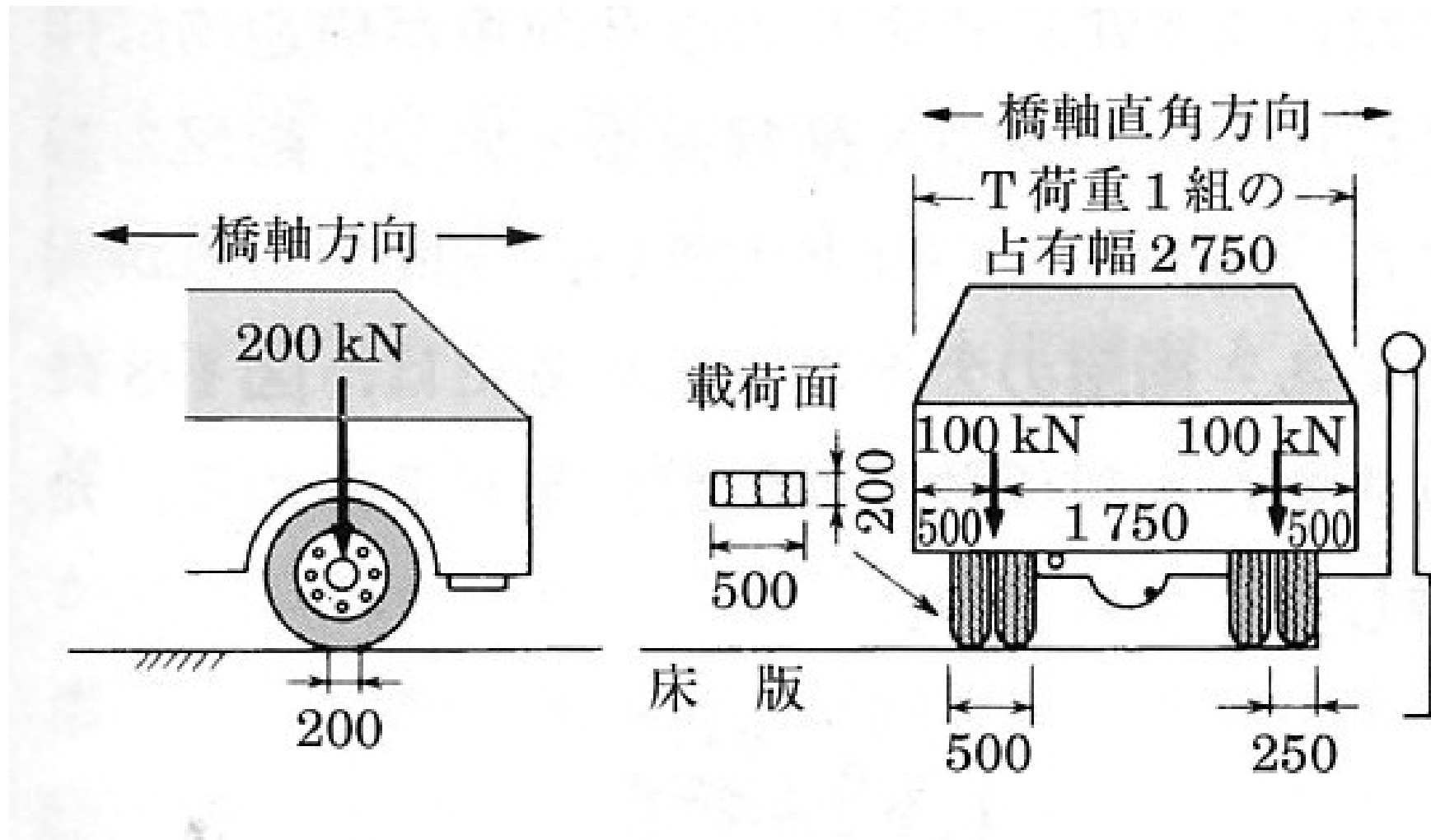
活荷重: 自動車の通行(移動荷重)

- **T荷重** : 床版, 床組を設計するときの荷重
- **L荷重** : 主桁を設計するときの荷重



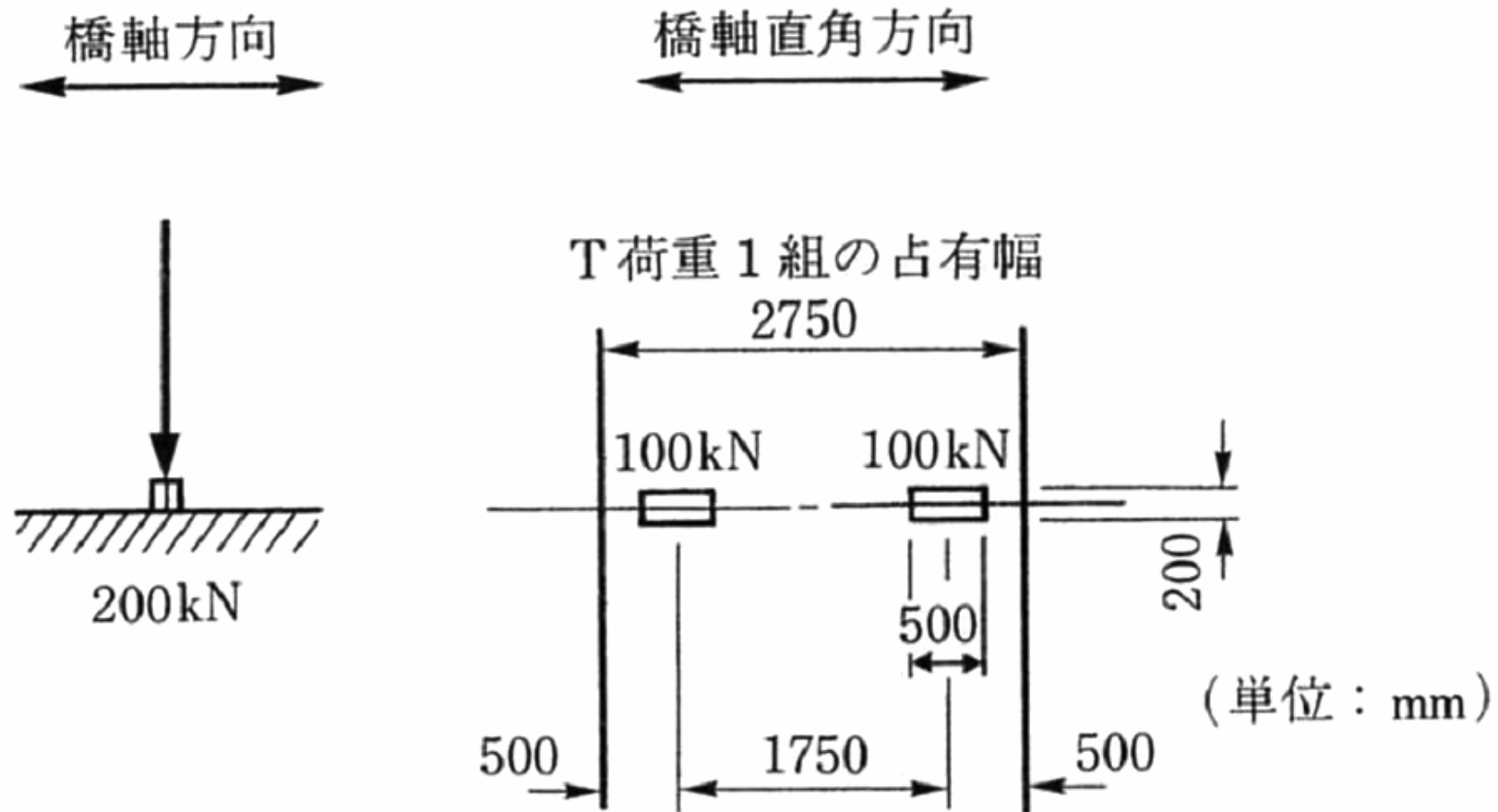
T荷重(床版, 床組の活荷重)

- 設計範囲狭い $\Rightarrow$ 個々の車両の載荷状況を想定

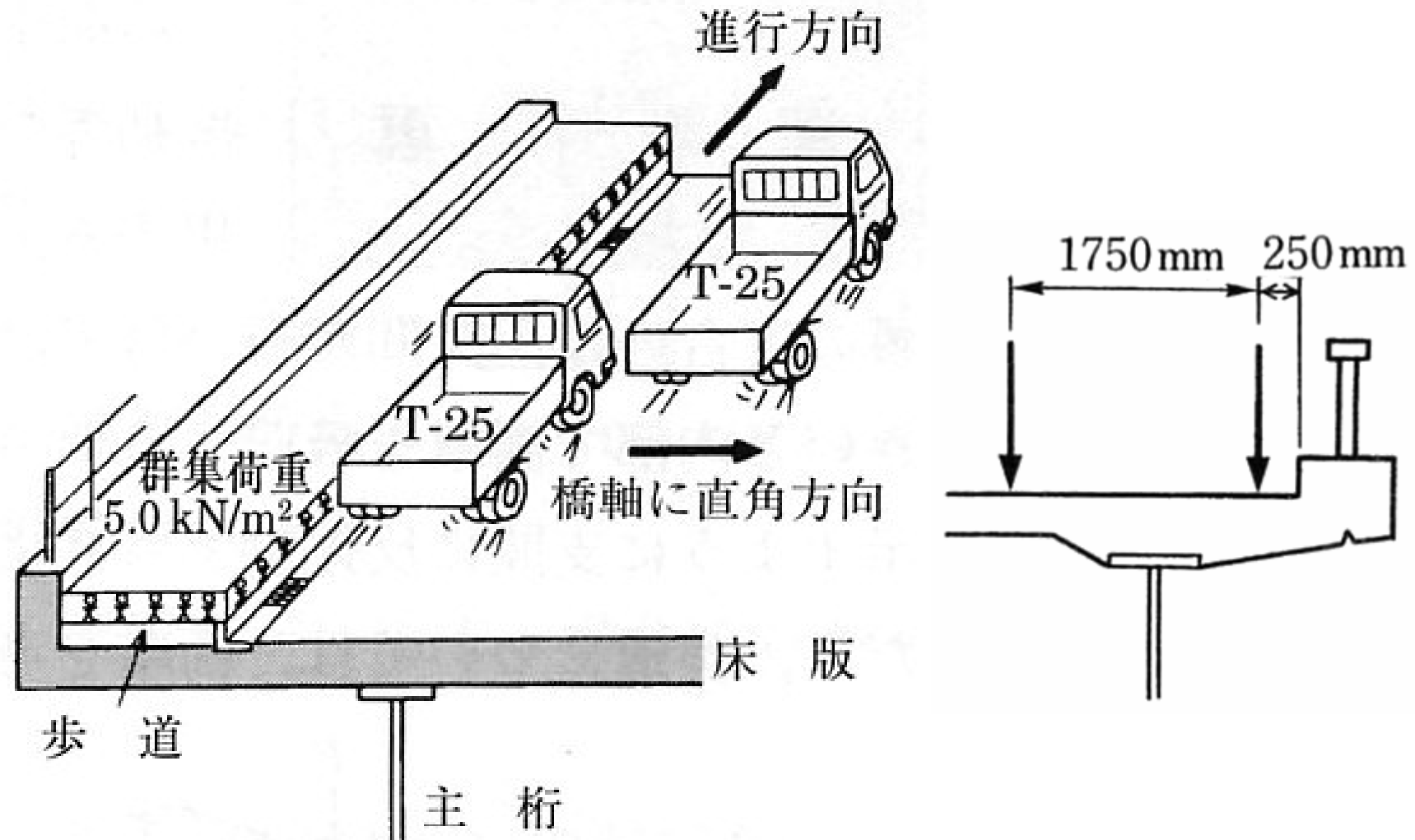


T荷重(床版, 床組の活荷重)

- 設計範囲狭い $\Rightarrow$ 個々の車両の載荷状況を想定



T荷重の載荷方法, 位置



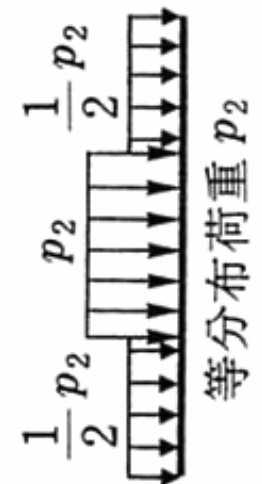
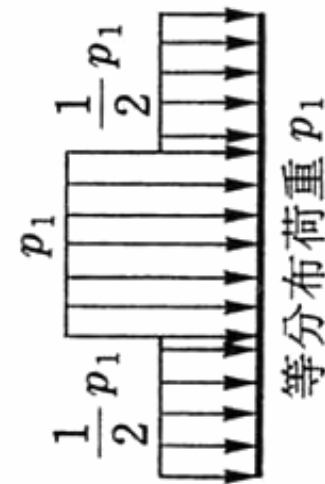
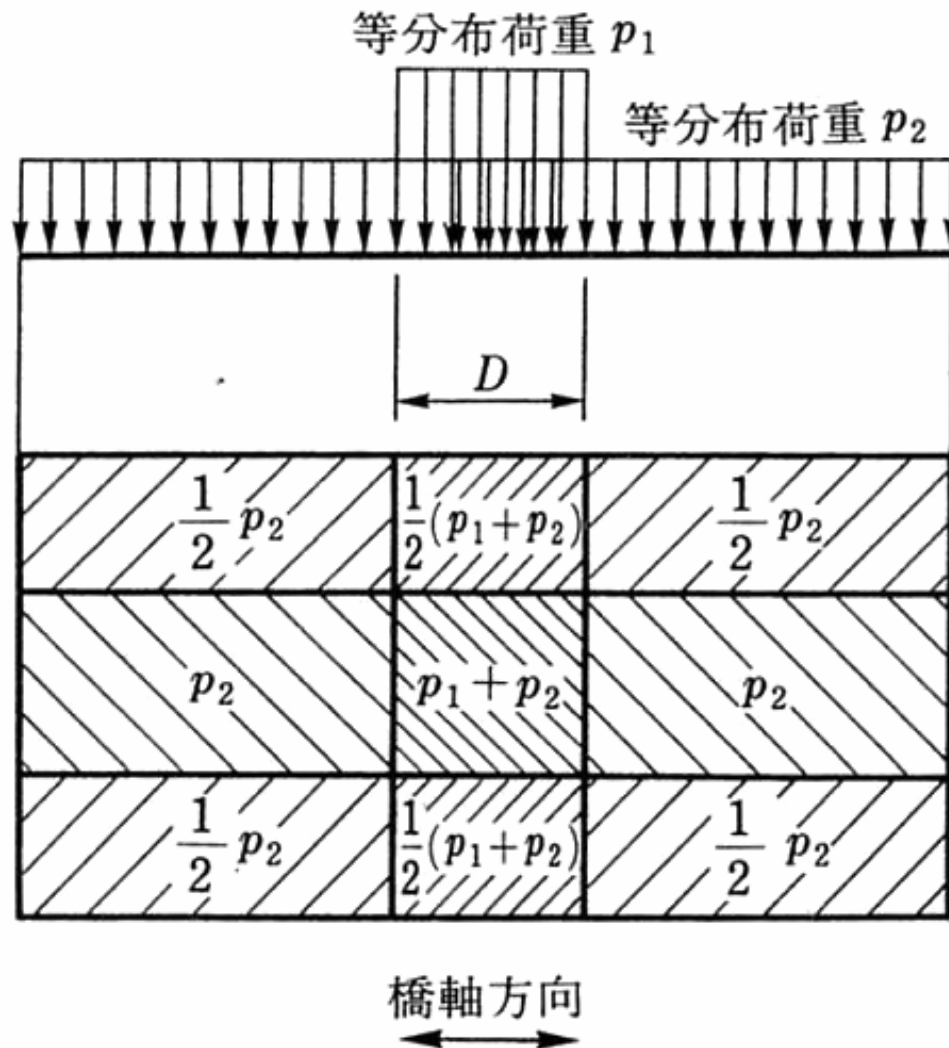
L活重(主桁の活荷重)

- 設計範囲広い ⇨ 車両集団の載荷を想定
⇨ 等分布荷重 p_1 , p_2

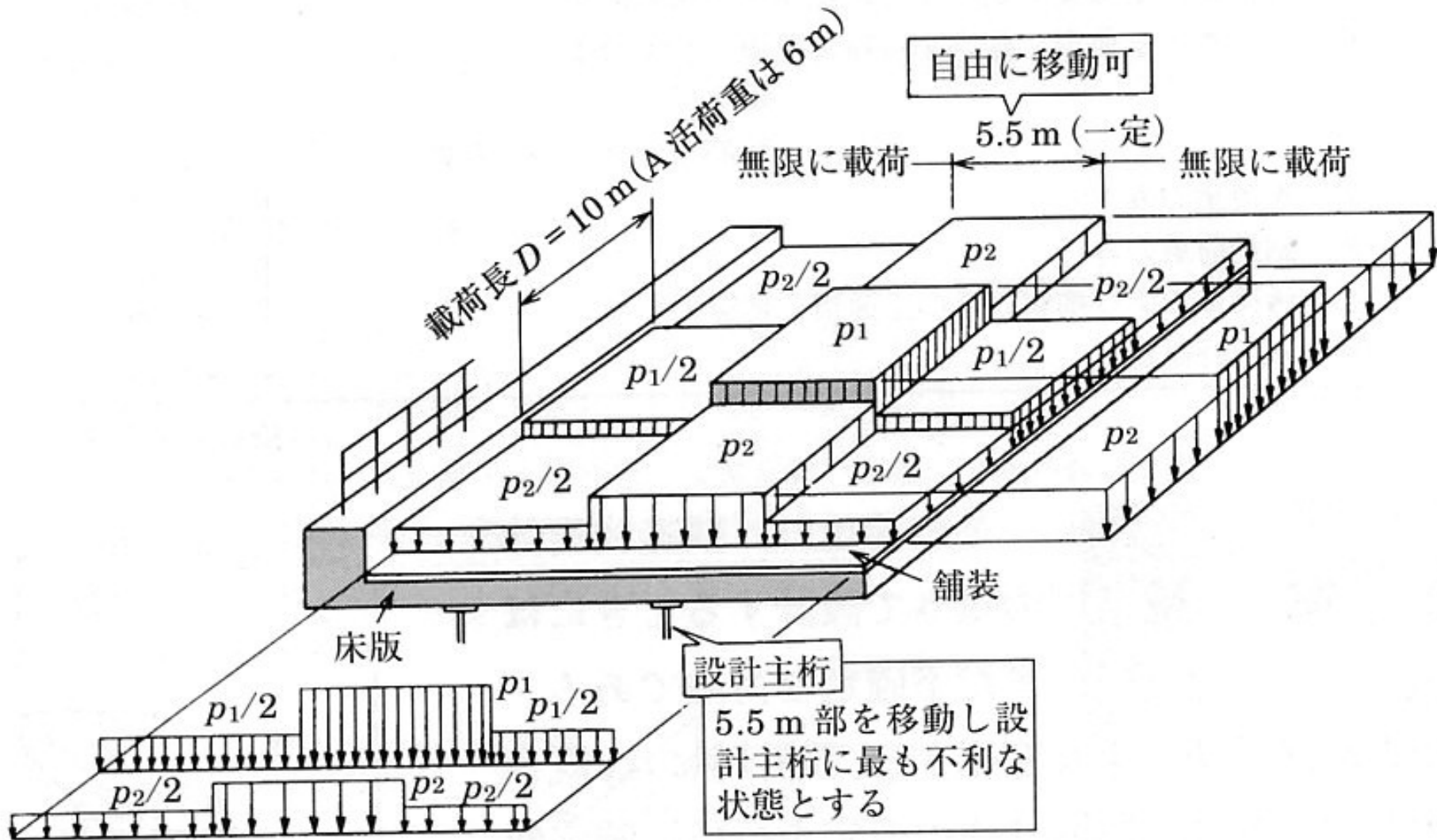
荷 重	主載荷荷重（幅 5.5 m）							
	等分布荷重 p_1				等分布荷重 p_2			従載荷 荷 重
	載荷長 $D(m)$	荷 重（ kN/m^2 ）		荷重（ kN/m^2 ）				
		曲げモーメントを 算 出 す る 場 合	せん断力を 算出する場合	$L \leq 80$	$80 < L \leq 130$	$L > 130$		
A 活荷重	6	10	12	3.5	$4.3 - 0.01 L$	3.0	主載荷荷 重の50%	
B 活荷重	10							

L : 支間長 (m)

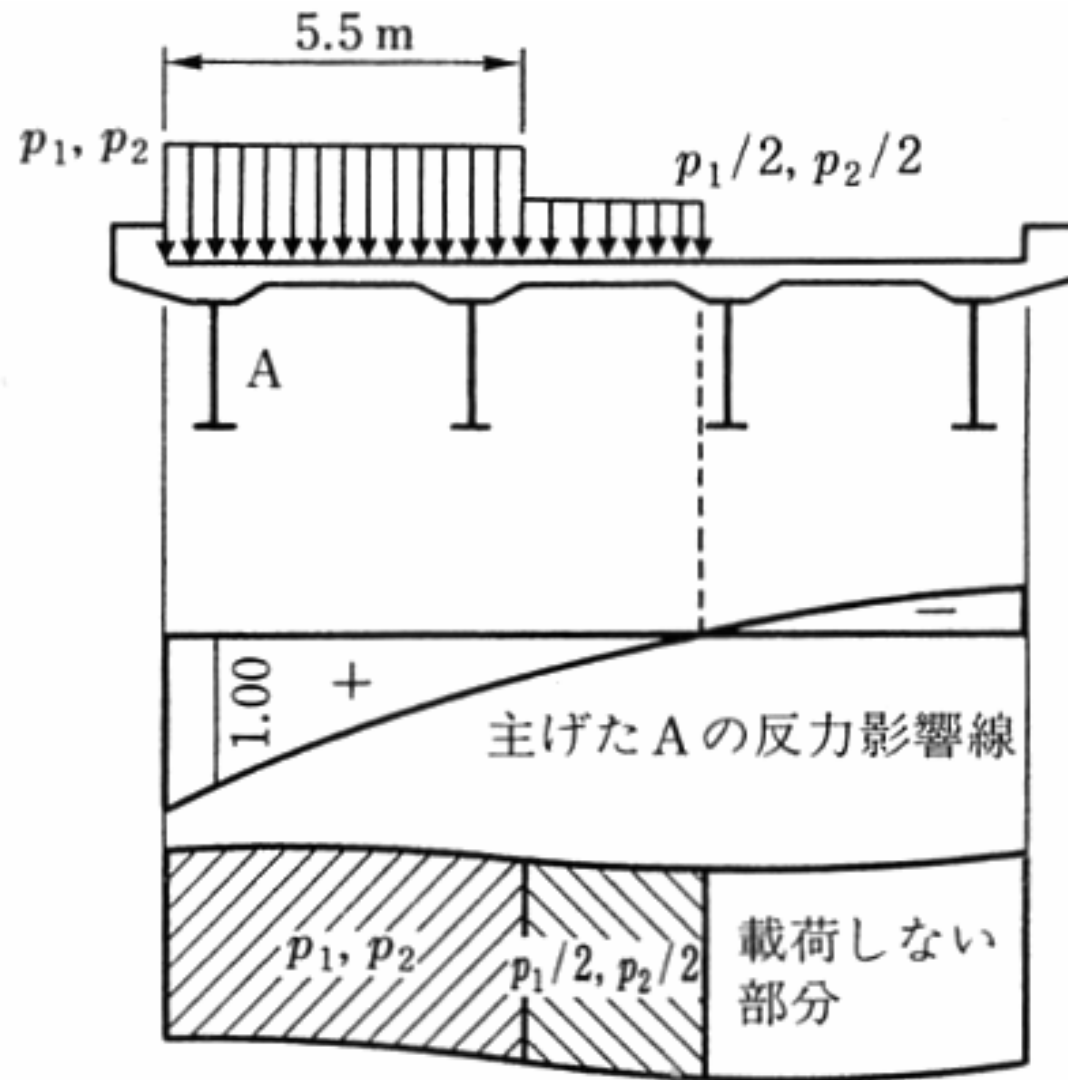
L荷重(主桁の活荷重)



L荷重(主桁の活荷重)

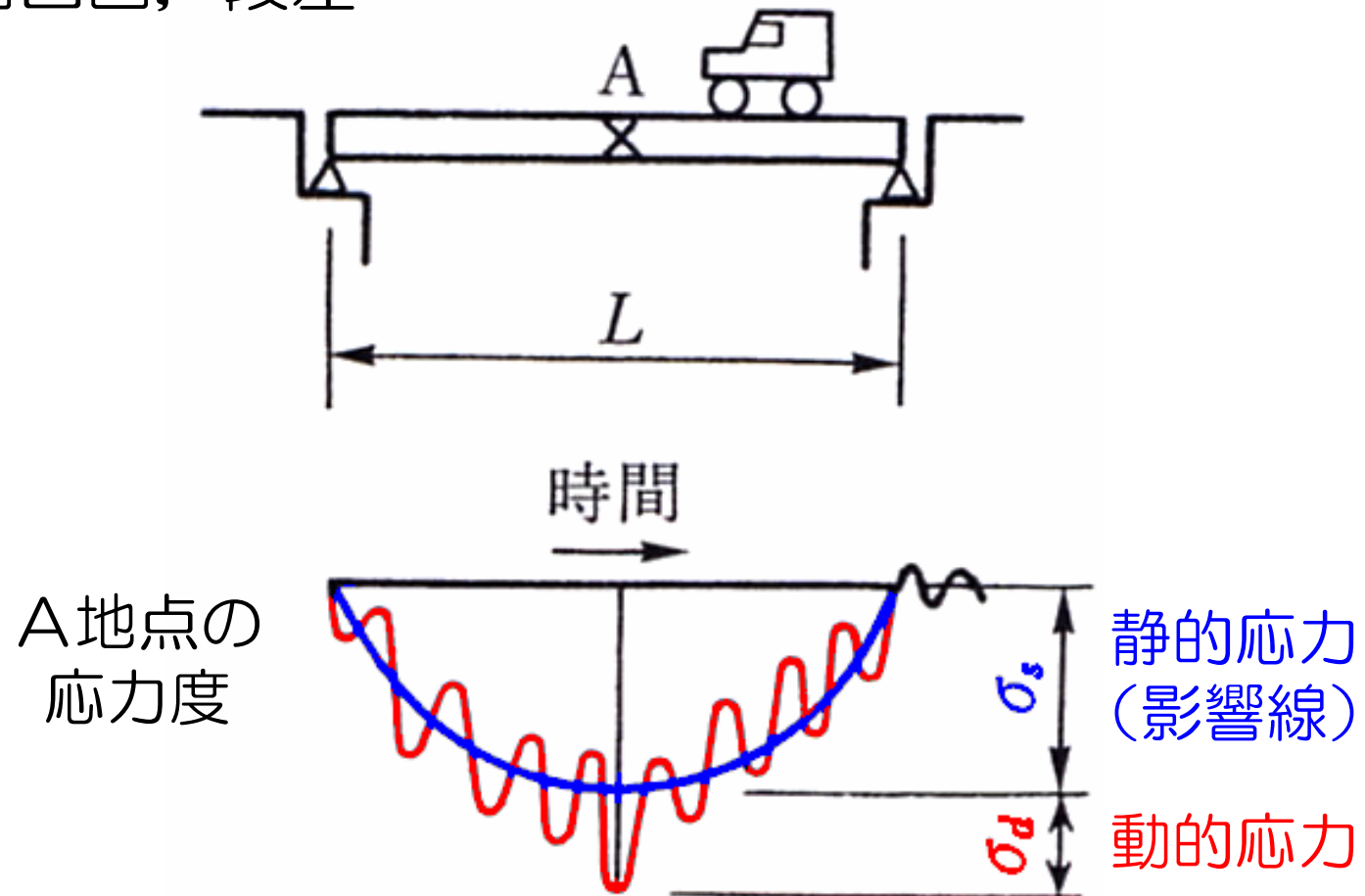


L荷重の載荷方法

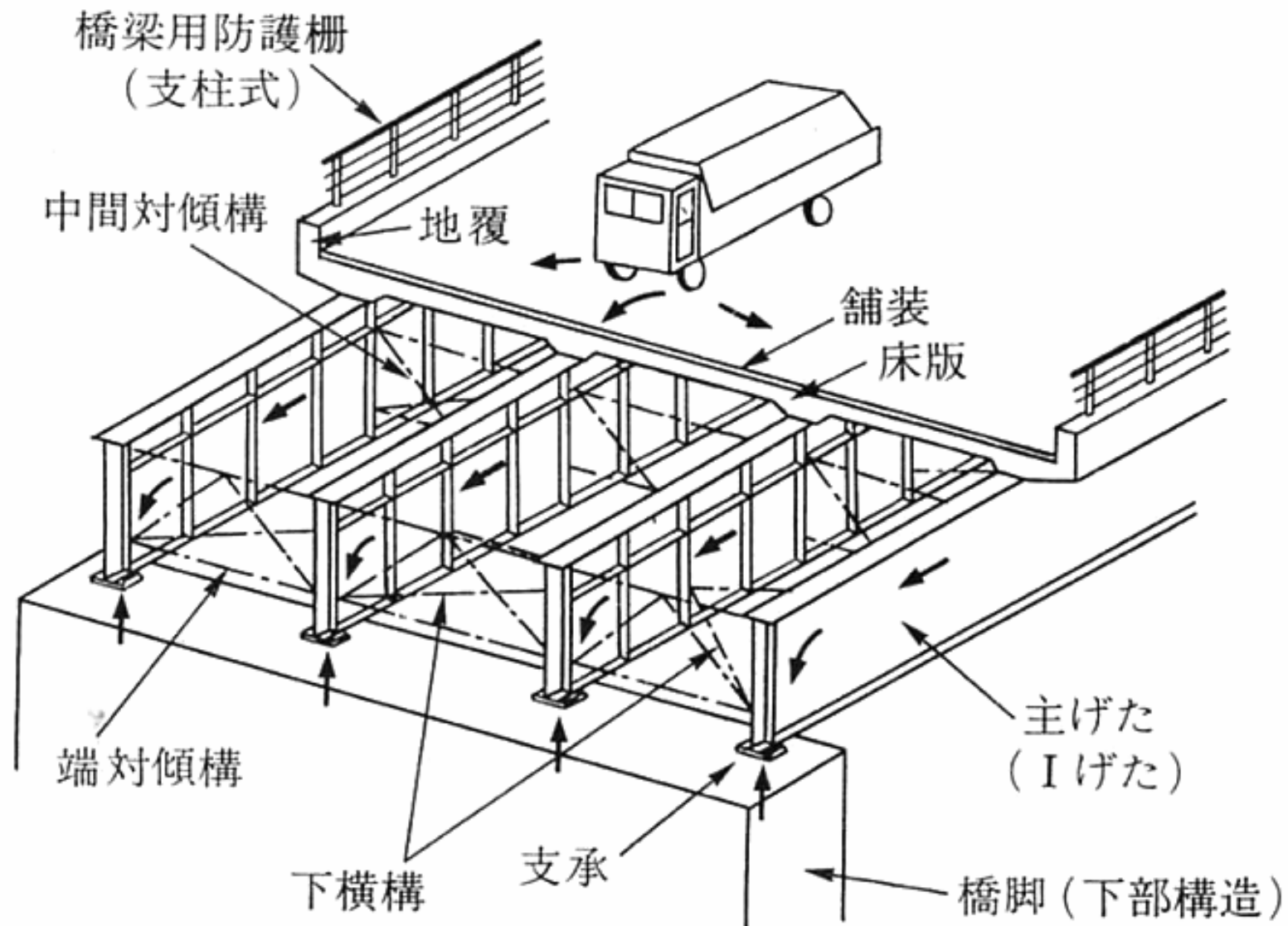


衝撃

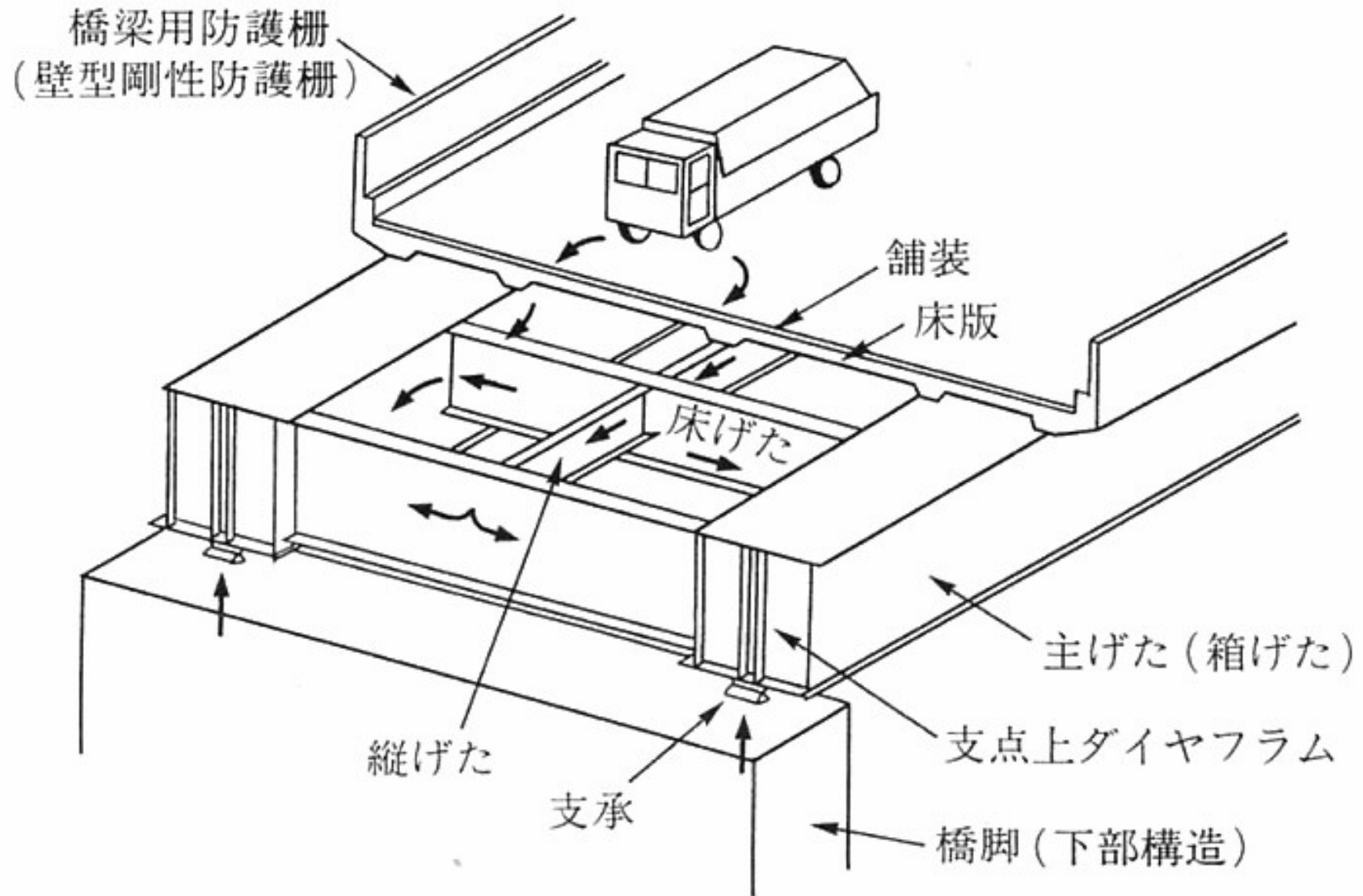
- 活荷重による動的効果
 - 路面凹凸，段差



床版: 荷重伝達経路 (I桁橋)



床版: 荷重伝達経路 (箱桁橋)



RC床版：桁の架設



RC床版:型枠の組立



RC床版：鉄筋組立



RC床版:コンクリート打設



RC床版:コンクリート打設完了

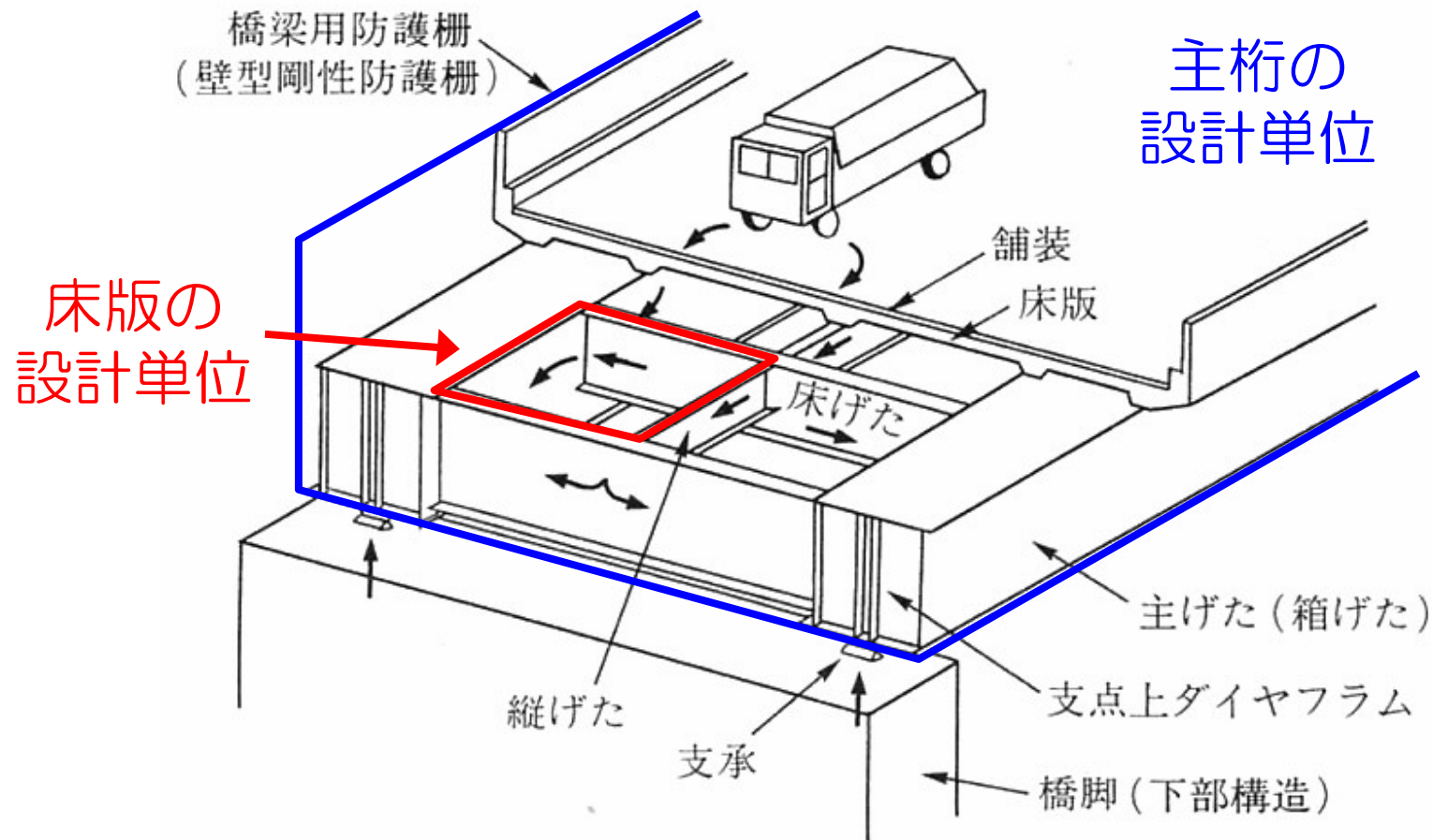


RC床版:舗装

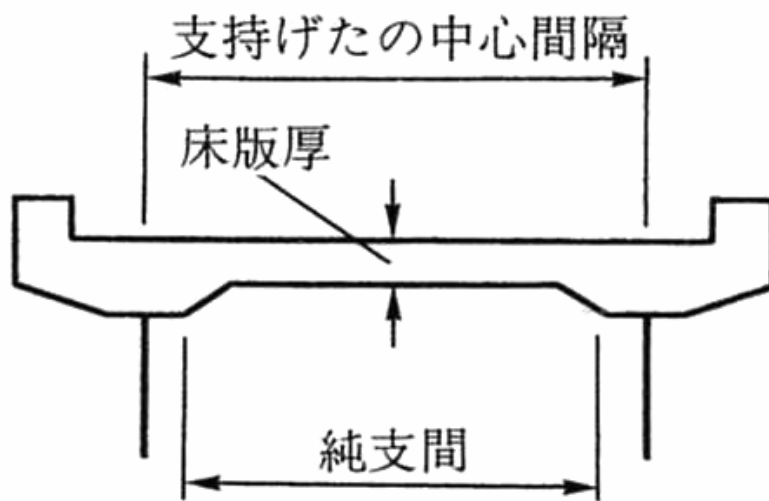


活荷重: 自動車の通行(移動荷重)

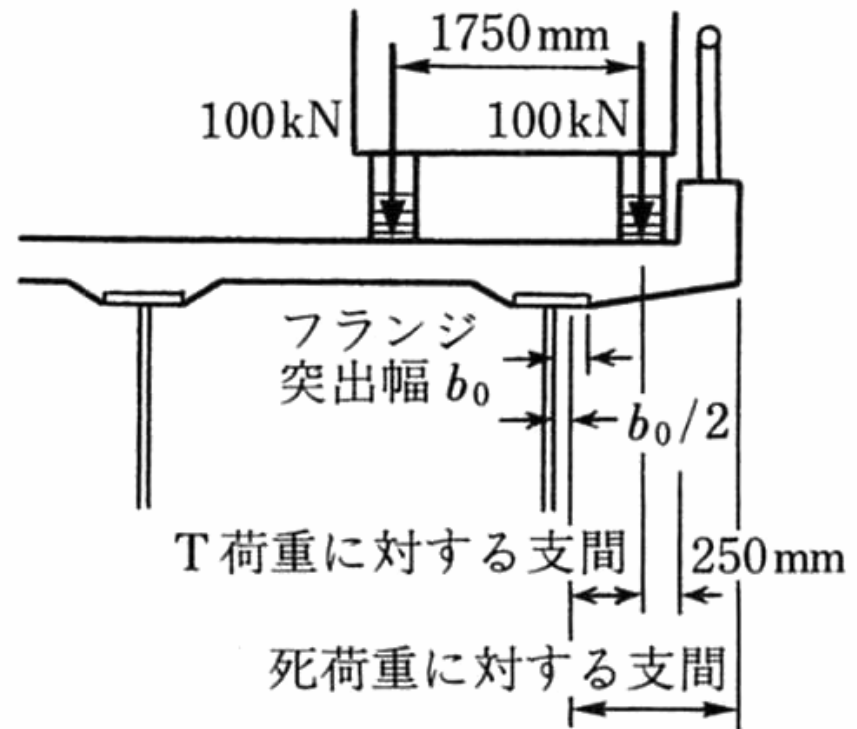
- **T荷重** : 床版, 床組を設計するときの荷重
- **L荷重** : 主桁を設計するときの荷重



床版のスパン



(a) 単純版の支間



(b) 片持版の支間
(主鉄筋が車両方向に直角な場合)

死荷重による設計M (kN・m/m)

版の区分	曲げモーメントの種類		主鉄筋方向 曲げモーメント	配力鉄筋方向の 曲げモーメント
単 純 版	支間曲げモーメント		$+wL^2/8$	無視してよい
片 持 版	支点曲げモーメント		$-wL^2/2$	
連 続 版	支間曲げ モーメント	端 支 間	$+wL^2/10$	
		中 間 支 間	$+wL^2/14$	
	支点曲げ モーメン	2 支間の場合	$-wL^2/8$	
		3 支間以上の場合	$-wL^2/10$	

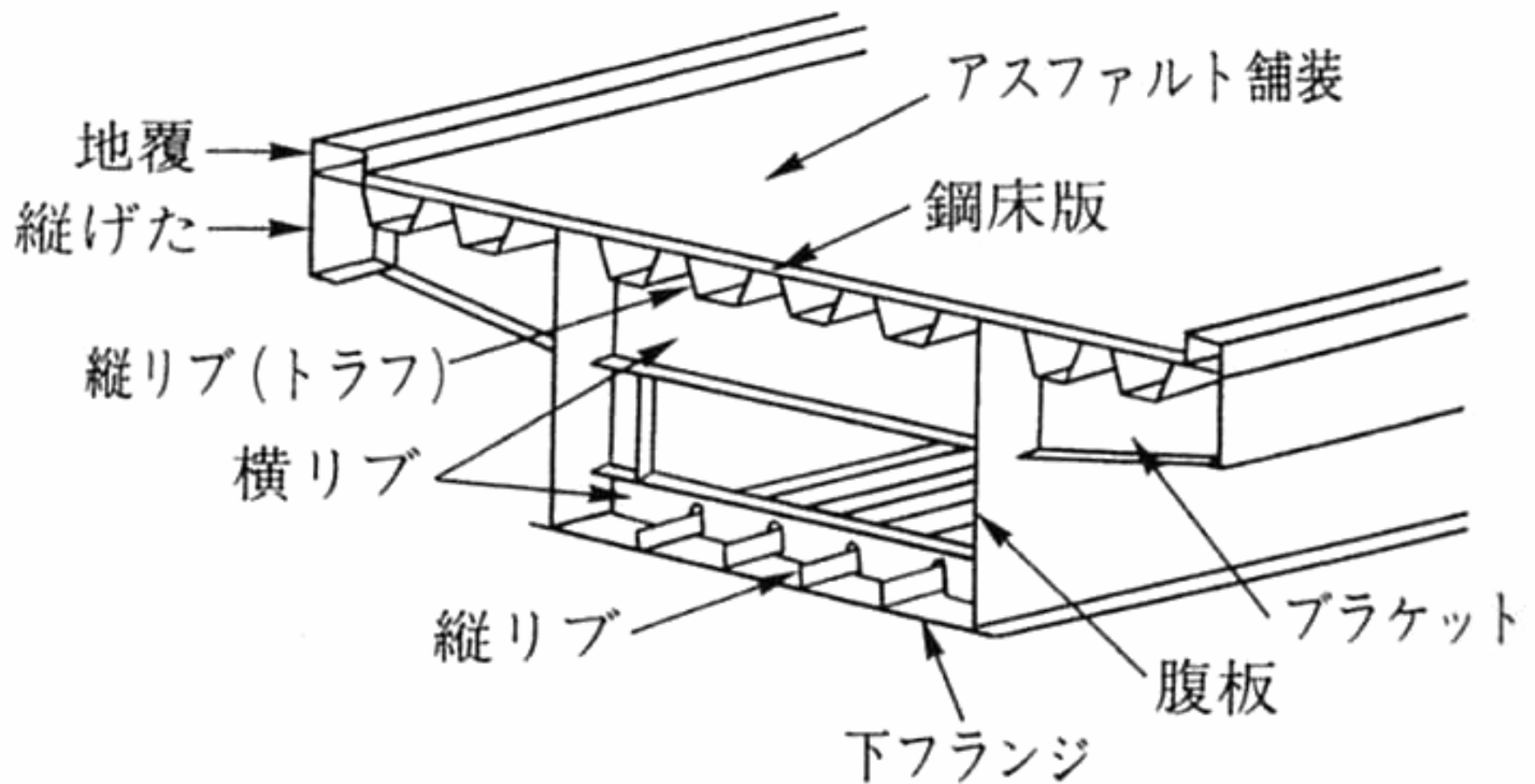
T荷重による設計M (kN・m/m)

版の区分	曲げモーメントの種類		床板の支間の方向 適用範囲 (m) 曲げモーメントの方向	車両進行方向に直角の場合		車両進行方向に平行の場合	
				主鉄筋方向の曲げモーメント	配力鉄筋方向の曲げモーメント	主鉄筋方向の曲げモーメント	配力鉄筋方向の曲げモーメント
単純版	支間曲げモーメント		$0 < L \leq 4$	$+(0.12L + 0.07)P$	$+(0.10L + 0.04)P$	$+(0.22L + 0.08)P$	$+(0.06L + 0.06)P$
連続版	支間曲げモーメント	中間支間	$0 < L \leq 4$	$+(\text{単純版の} 80\%)$	$+(\text{単純版の} 80\%)$	$+(\text{単純版の} 80\%)$	$+(\text{単純版と同じ})$
		端支間				$+(\text{単純版の} 80\%)$	$+(\text{単純版と同じ})$
	支点曲げモーメント	中間点		$-(\text{単純版の} 80\%)$	—	$-(\text{単純版の} 80\%)$	—
片持版	支点		$0 < L \leq 1.5$	$-\frac{PL}{(1.30L + 0.25)}$	—	$-(0.70L + 0.22)P$	—
	先端付近			—	$+(0.15L + 0.13)P$	—	$+(0.16L + 0.07)P$

ここに、 L ：A 項に示す T 荷重に対する床版の支間 (m)

P ：T 荷重の片側荷重 (100 kN)

鋼床版箱桁



鋼床版



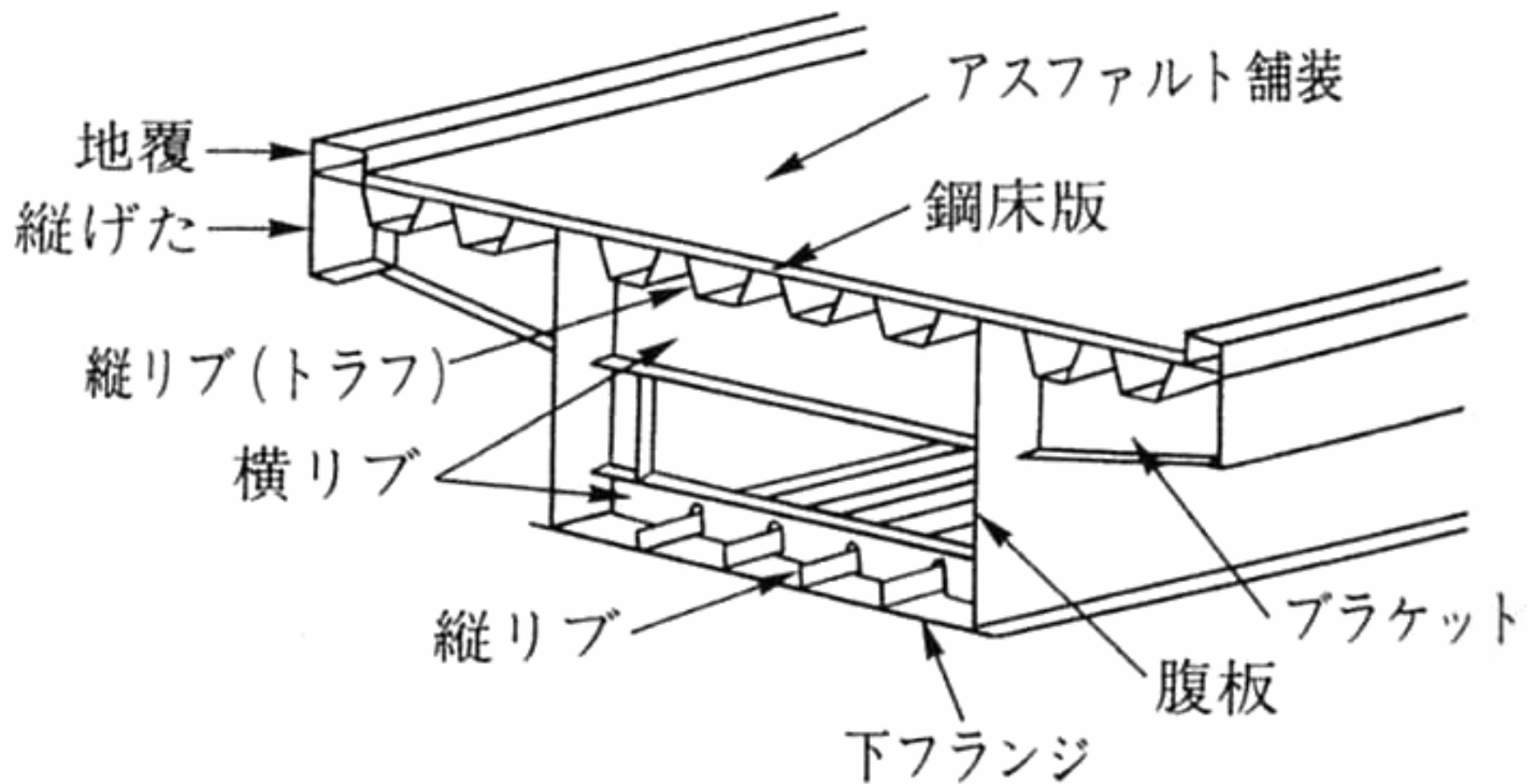
鋼床版



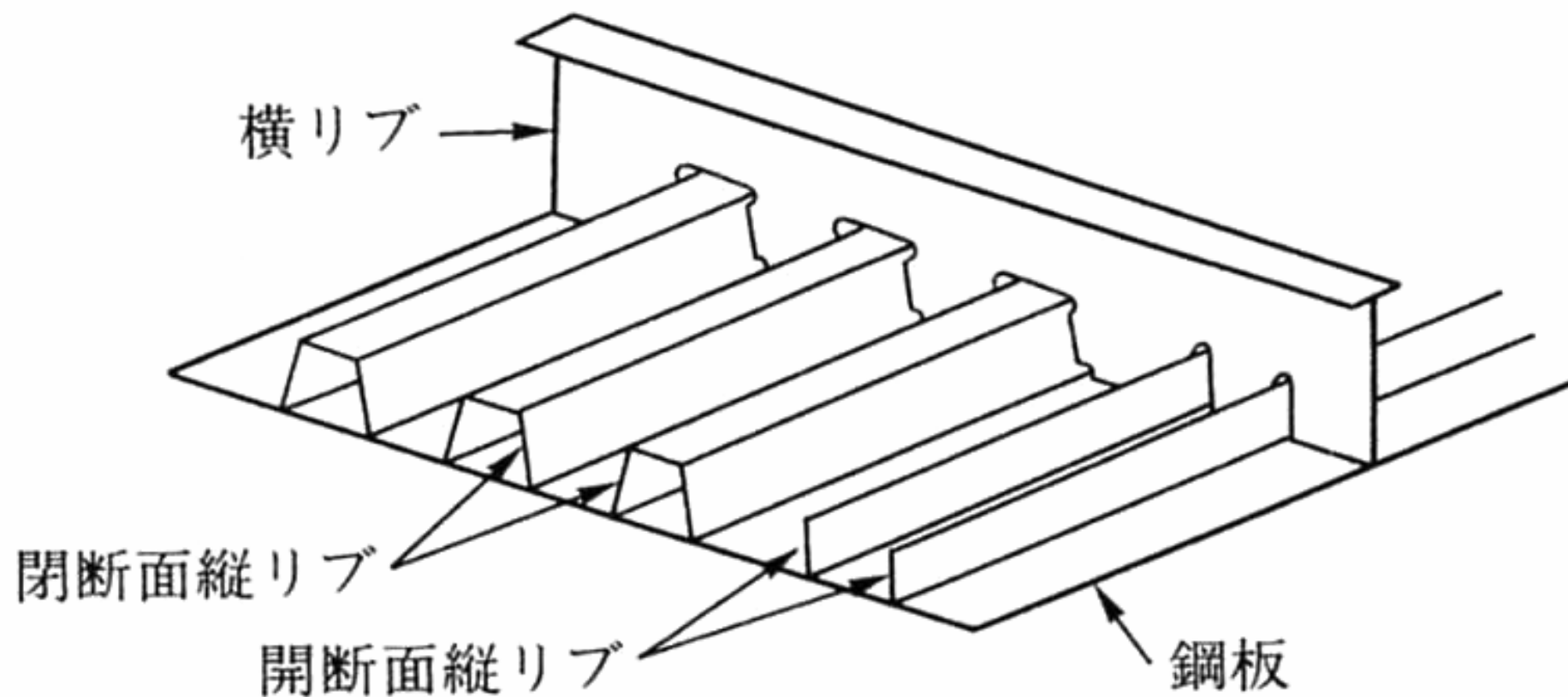
鋼床版



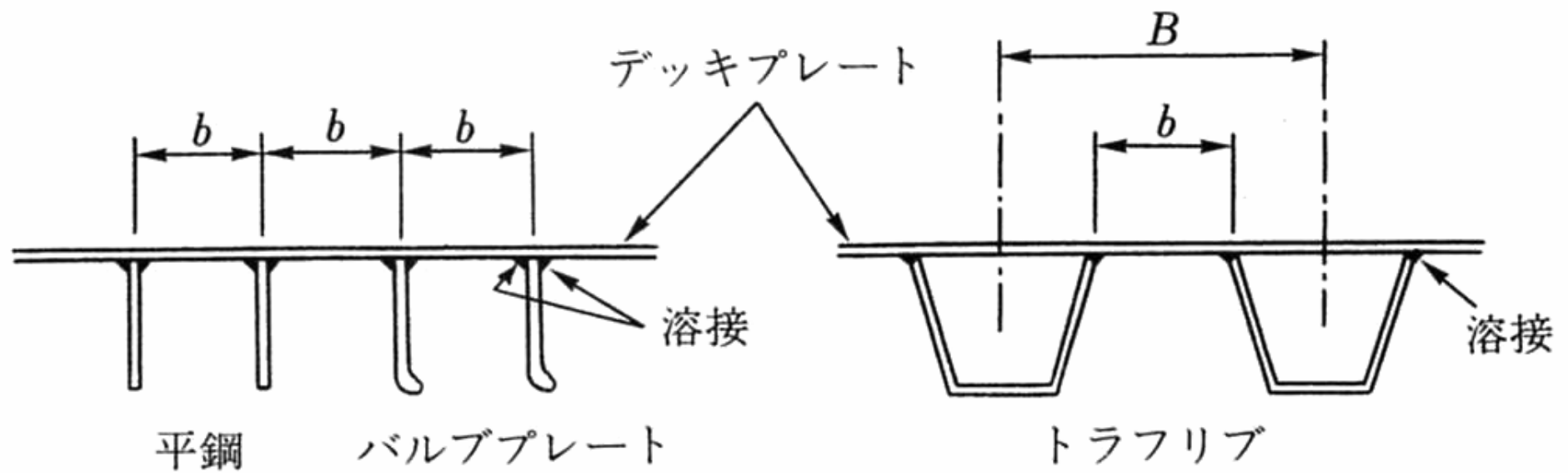
鋼床版箱桁



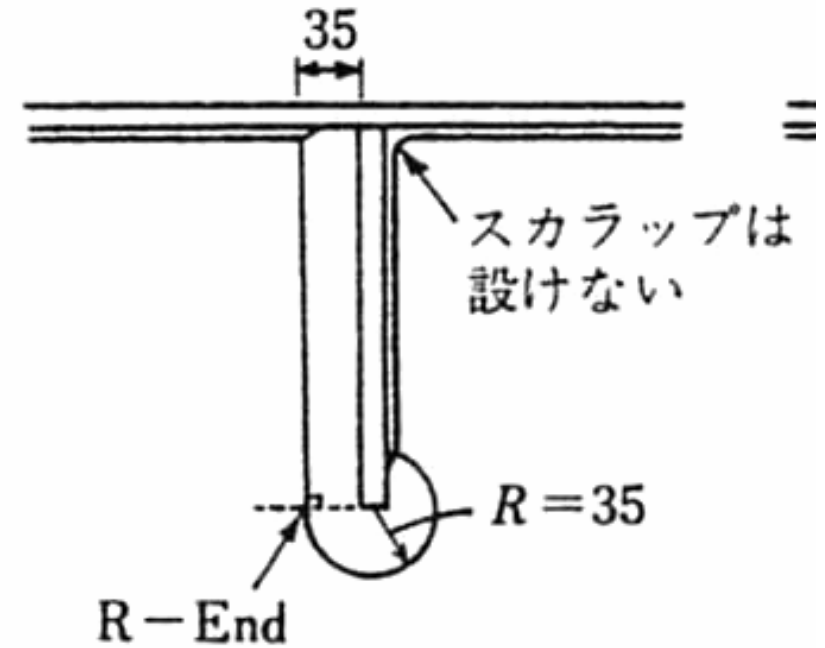
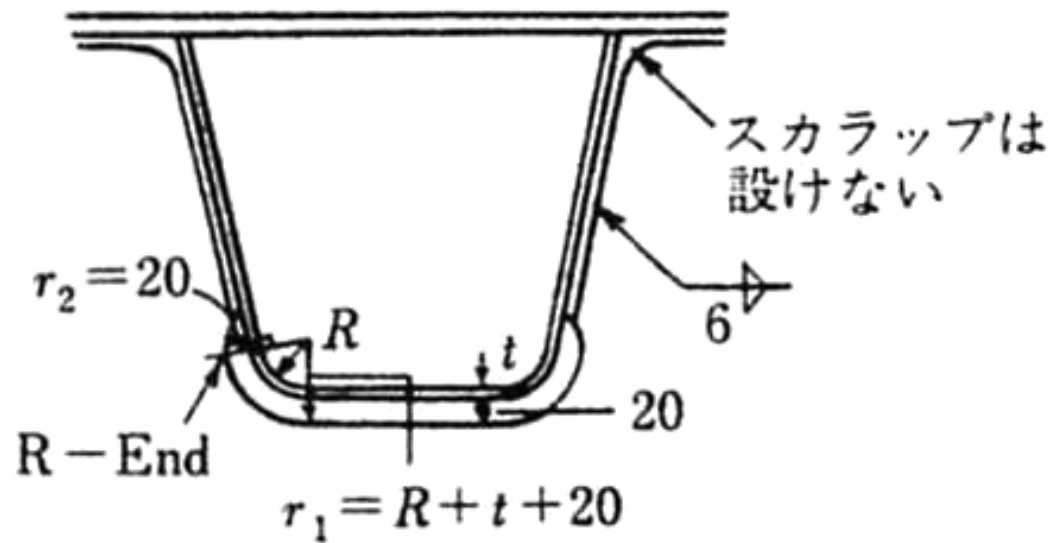
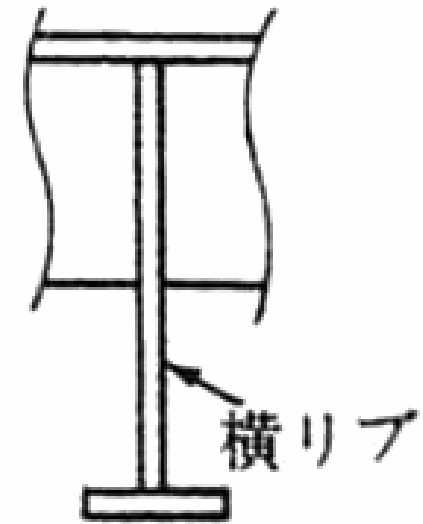
鋼床版（裏面から見る）



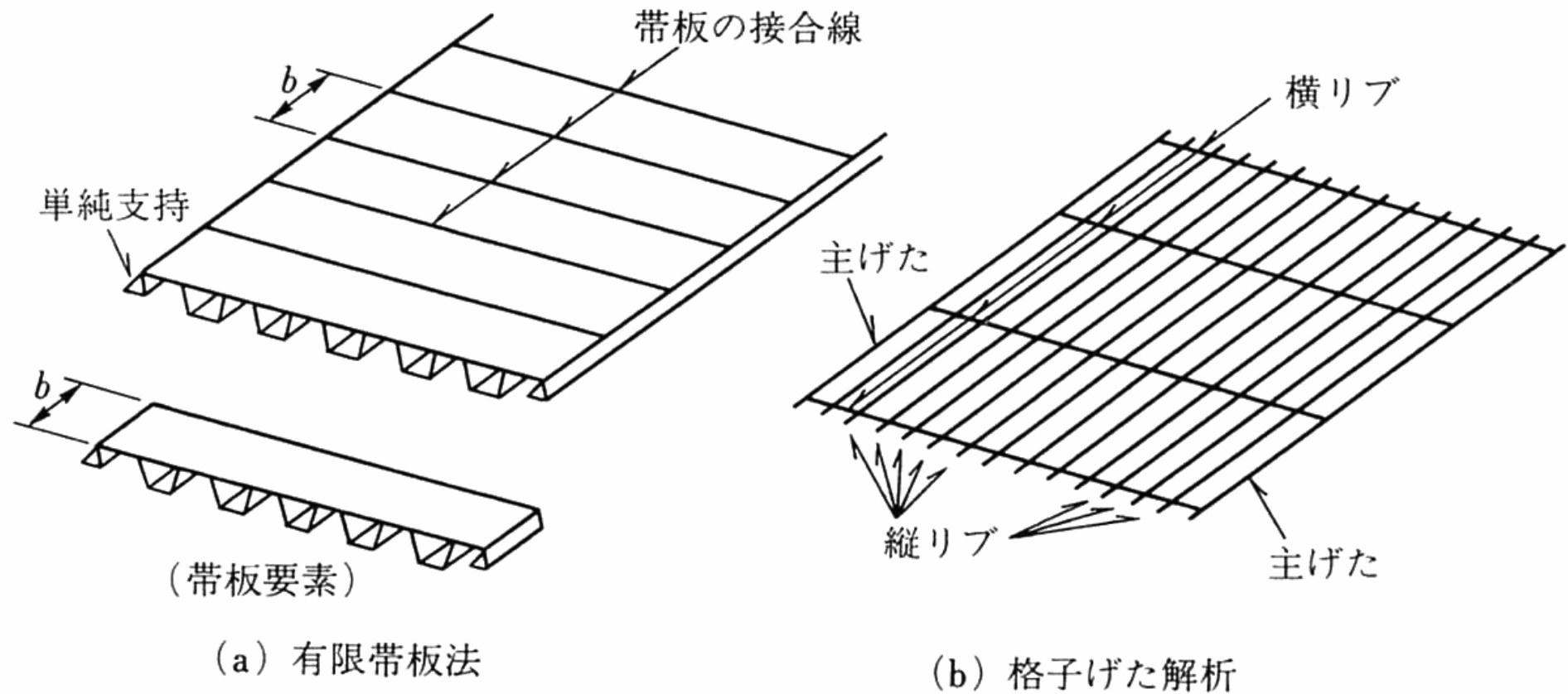
縦リブ形状



縦リブと横リブの交差



鋼床版の断面力計算法



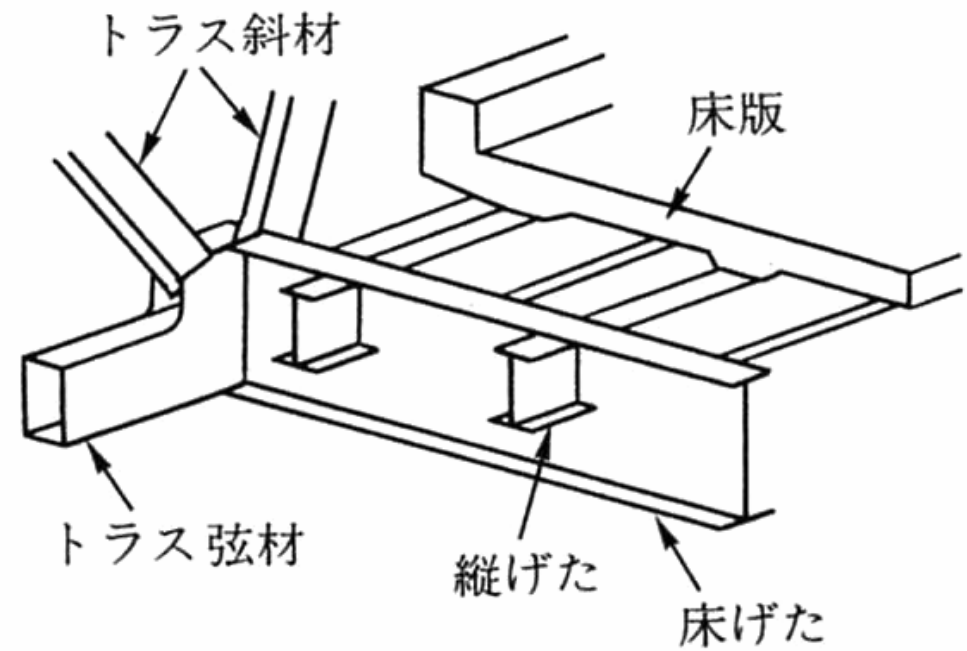
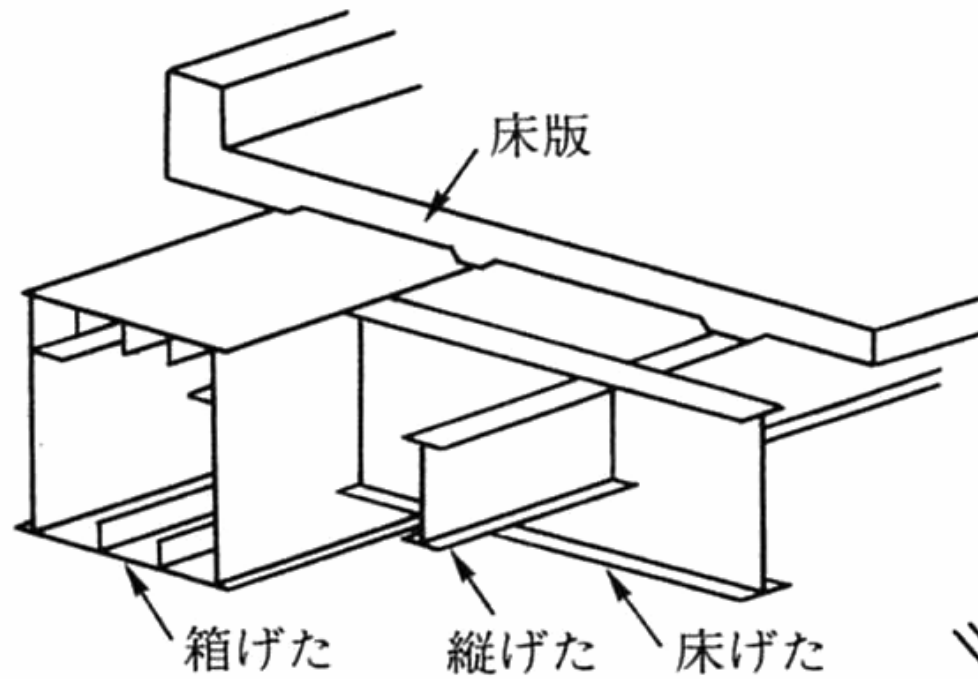
床組 (箱桁橋)



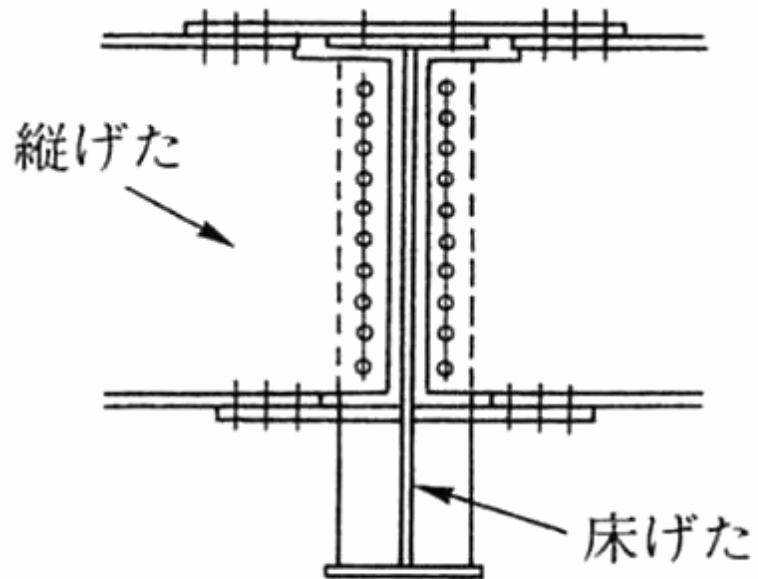
床組(アーチ橋)



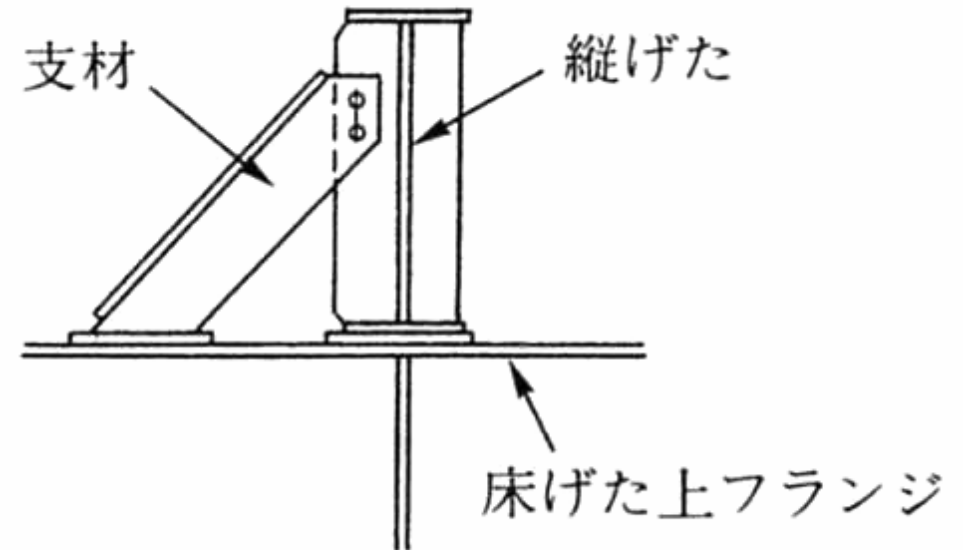
床組



縦桁と床桁の連結の例

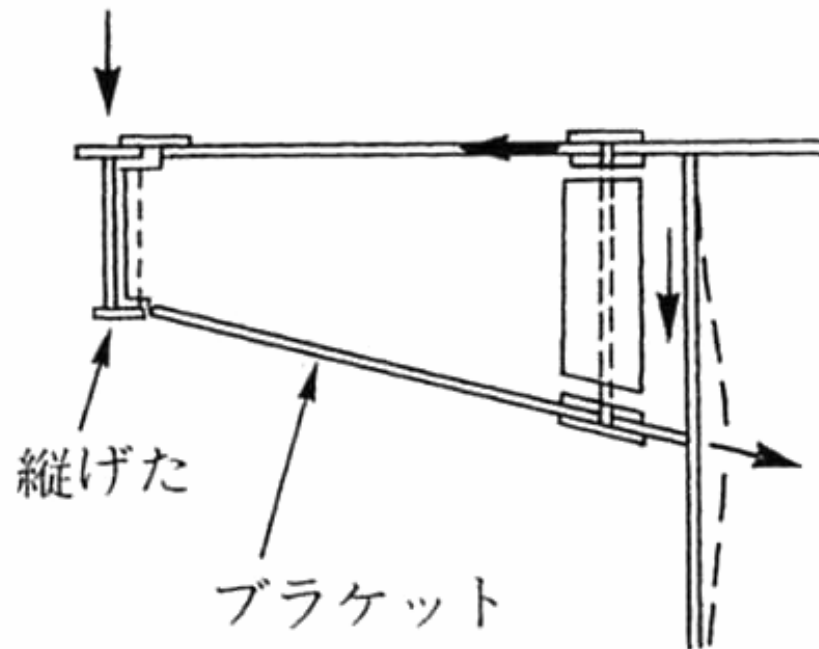


(a) 縦げた，床げたの上フランジ面を同一とする構造

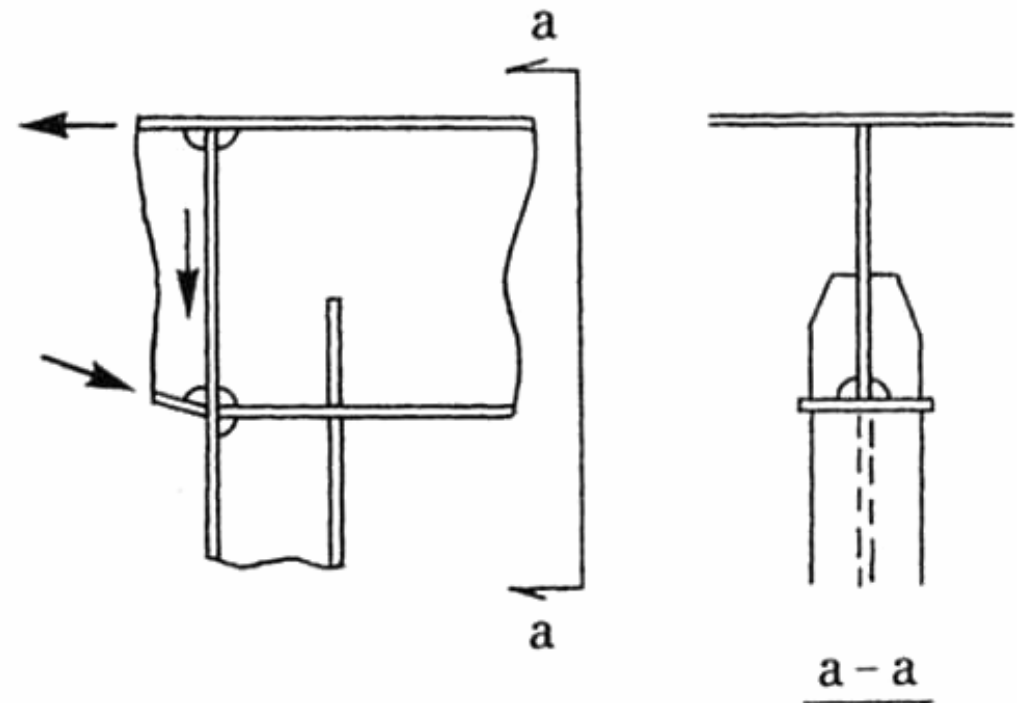


(b) 縦げたを床げたに載せる構造

ブラケットの取り付け部



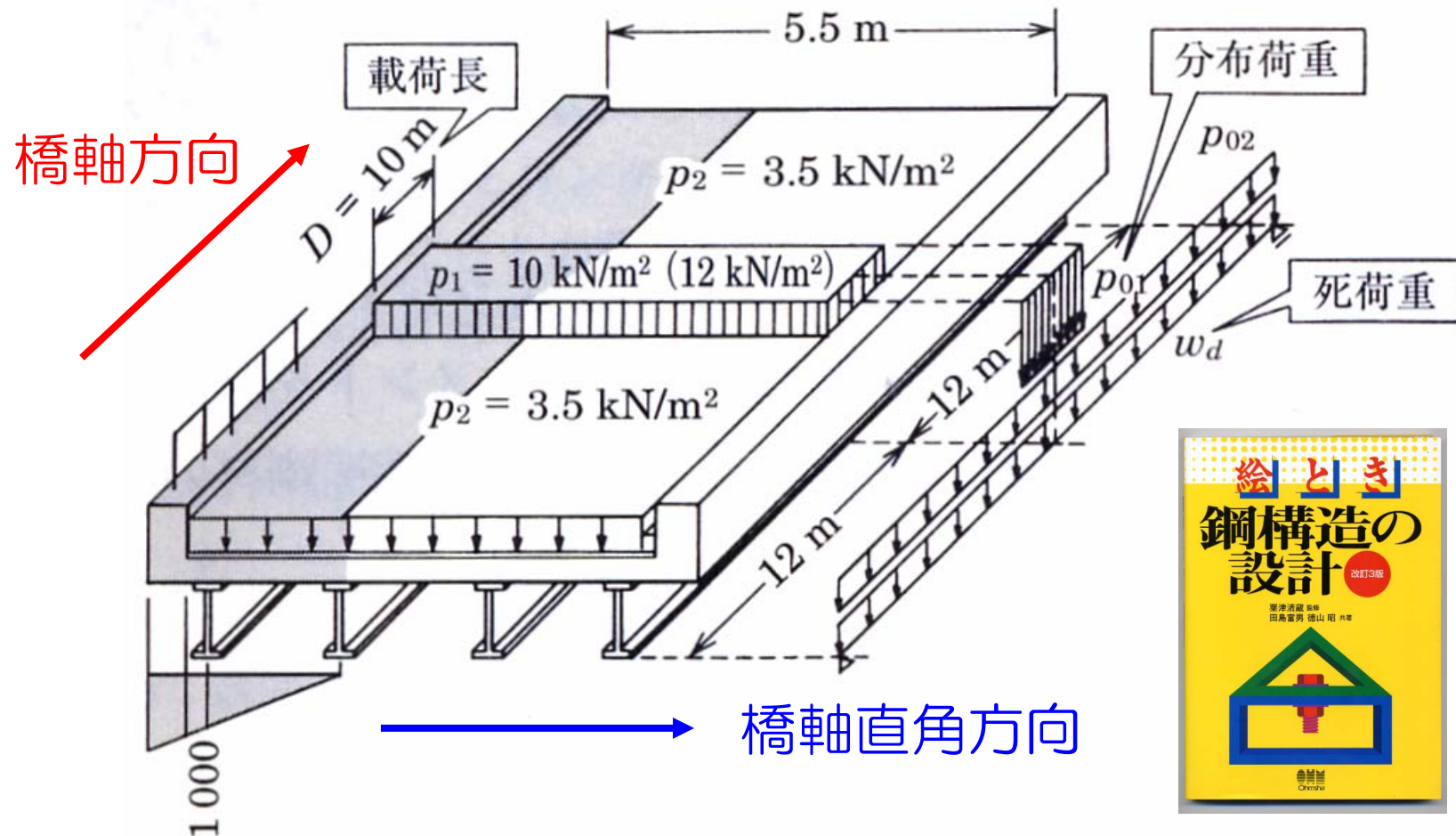
(a) 板面外力の作用



(b) 板面内力への変換

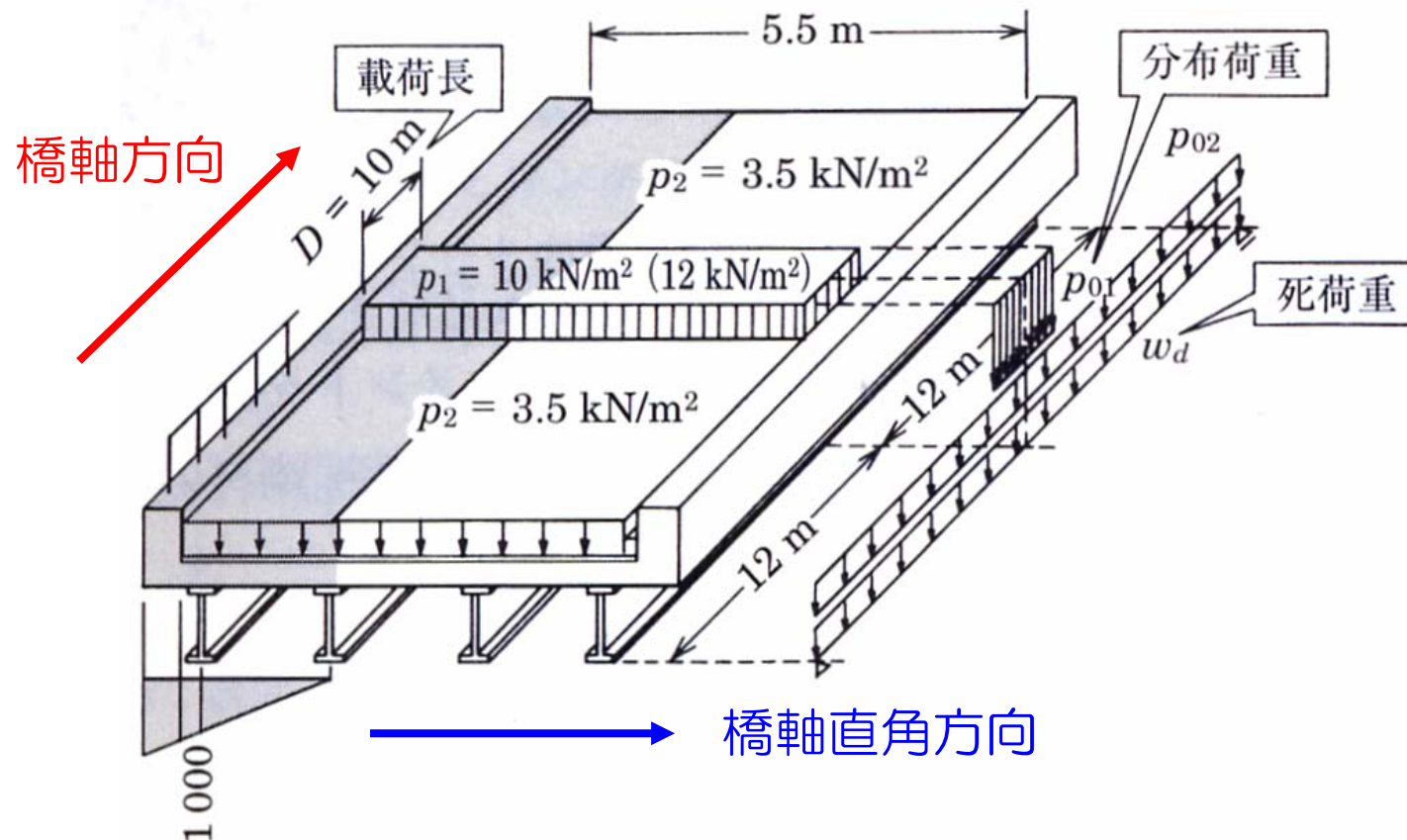
縦桁の設計

- 基本的には主桁（I 桁橋）と同じ



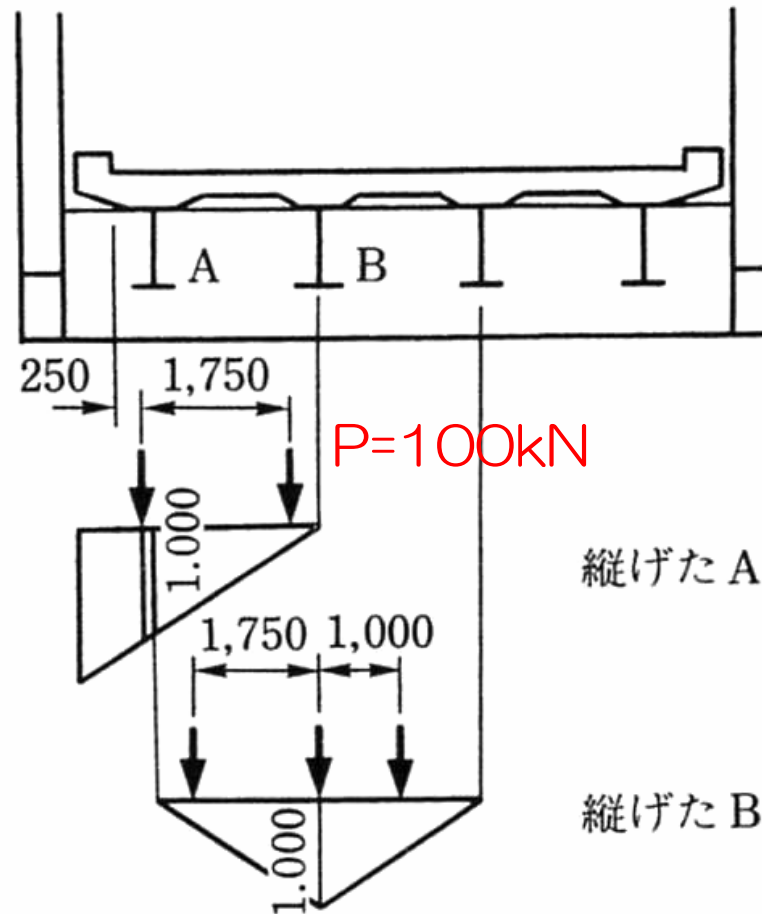
縦桁の設計: 2段階で行う

1. 縦桁に作用する荷重: 橋軸直角方向
2. 縦桁の断面力: 橋軸方向

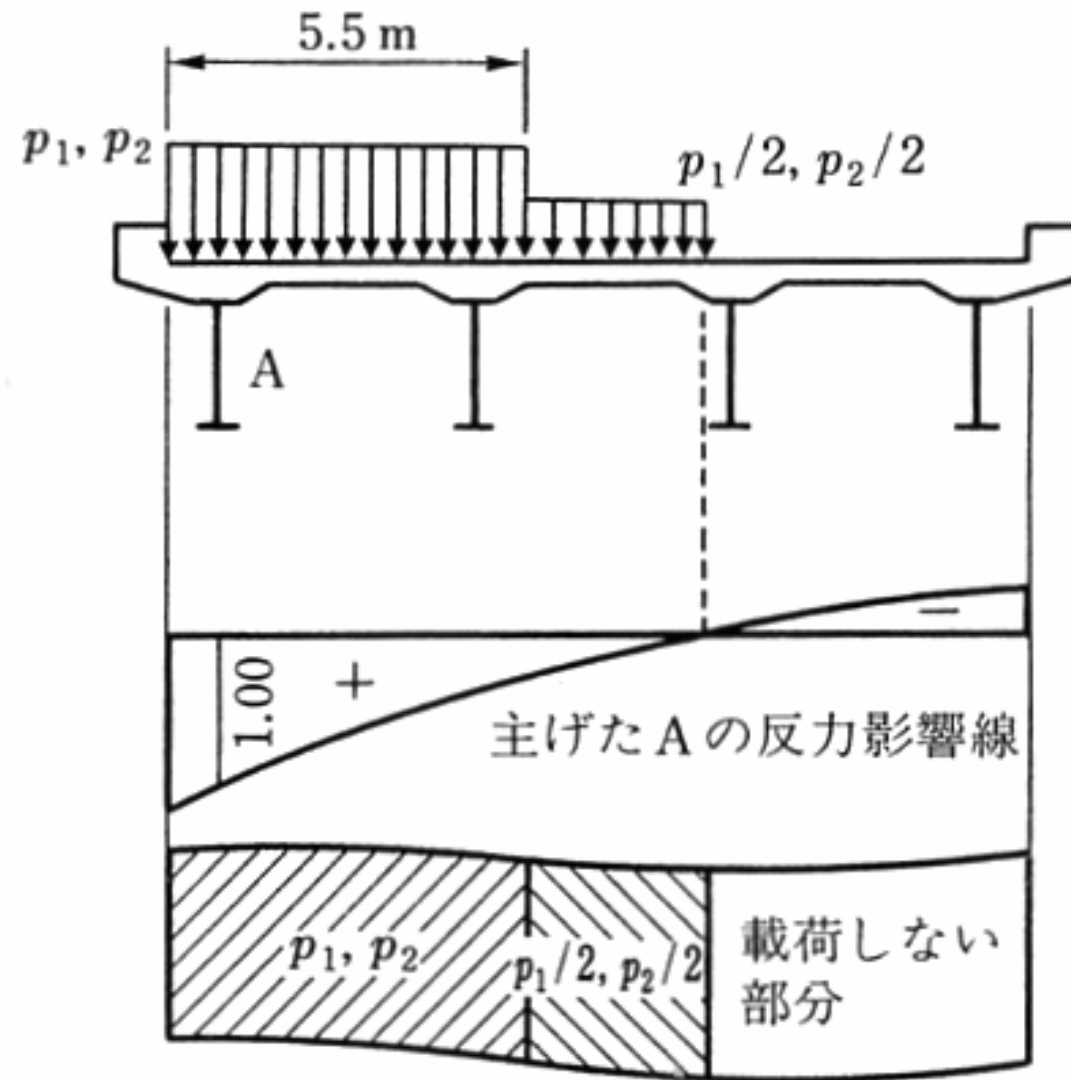


1. 縦桁に作用する荷重 (橋軸直角方向)

- 床版を単純ばりと見なして、支点反力を計算
 - T 荷重

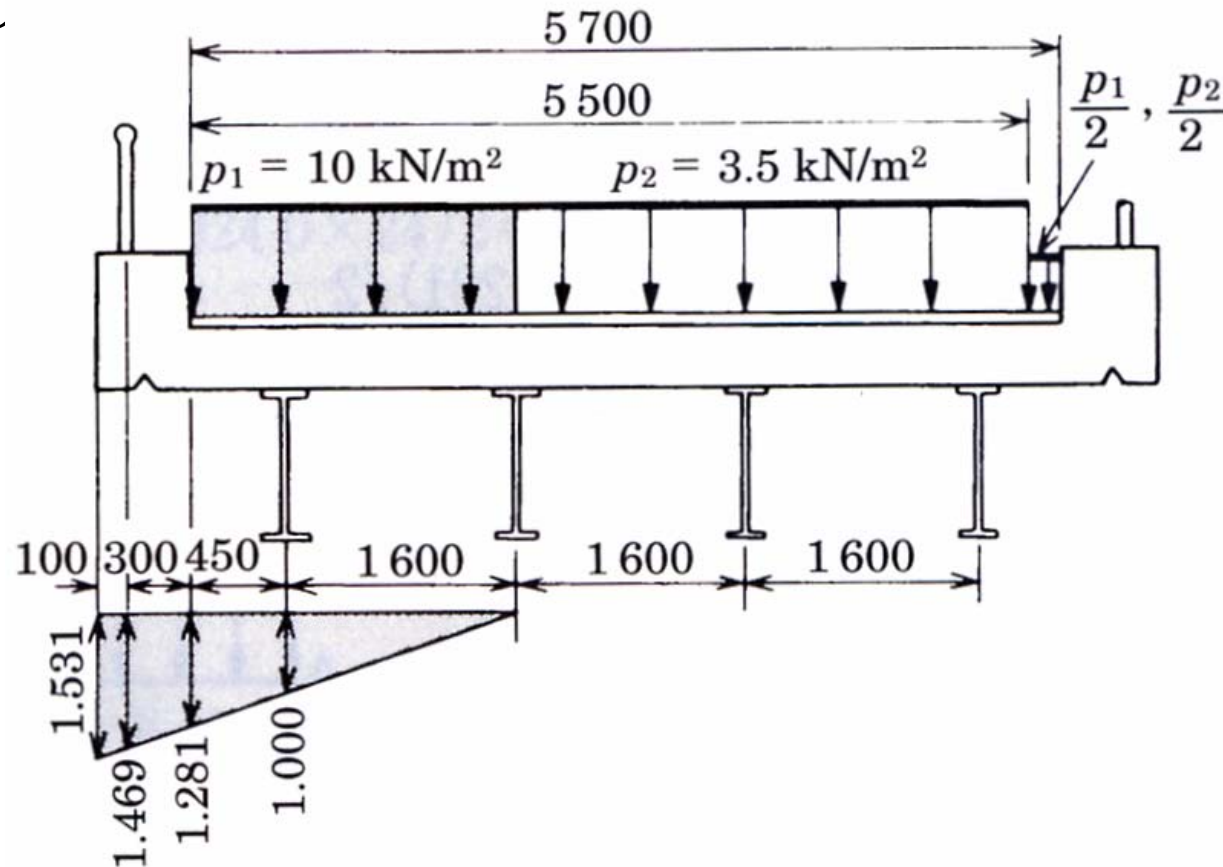


L荷重の載荷方法



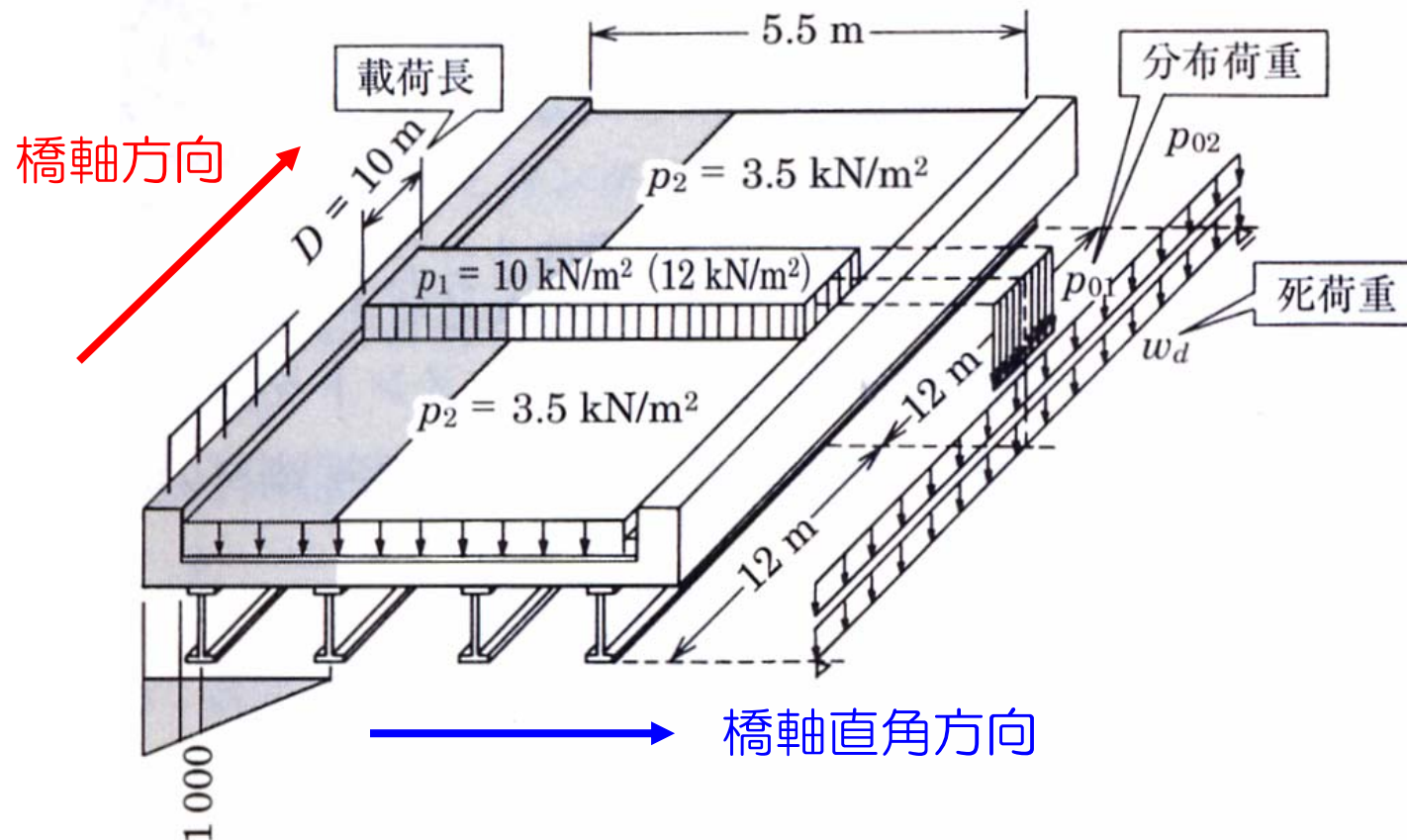
1. 縦桁に作用する荷重 (橋軸直角方向)

- 床版を単純ばりと見なして、支点反力を計算
 - 主桁のL 荷重, 床版の死荷重も同様 (等分布荷重)



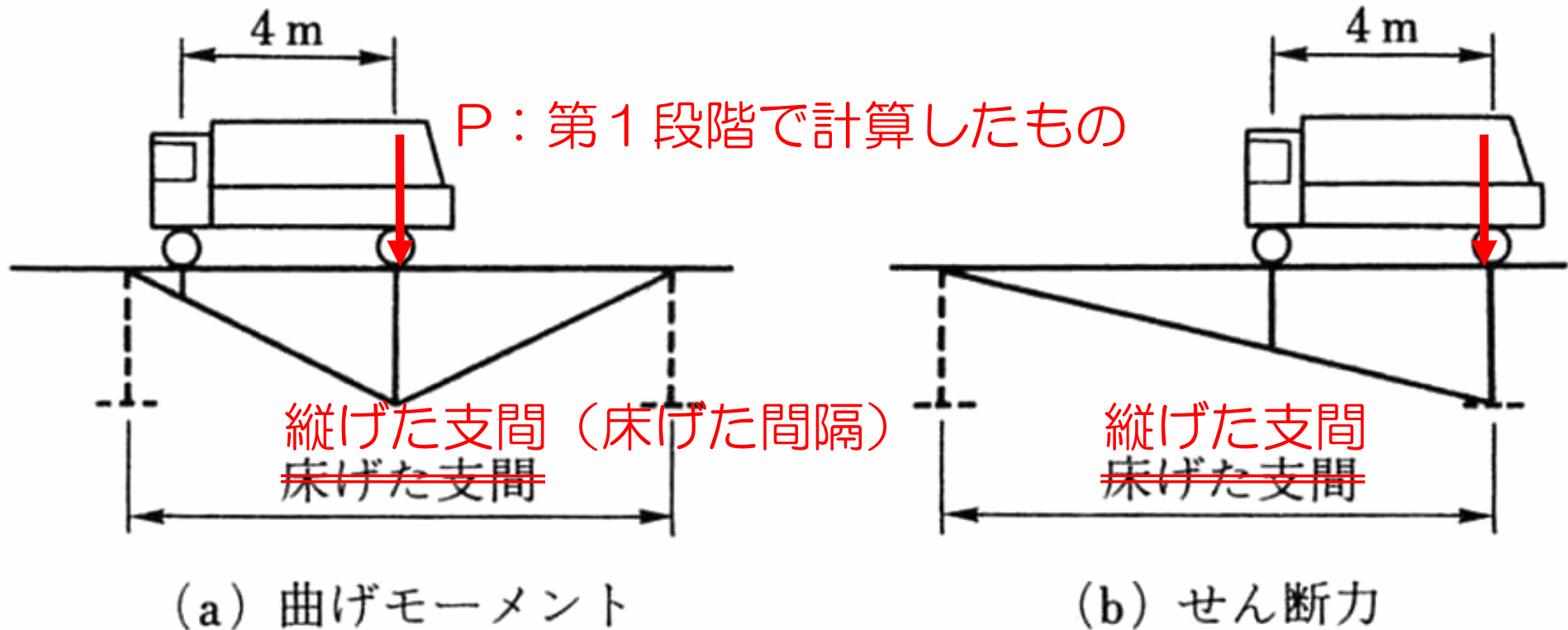
縦桁の設計: 2段階で行う

1. 縦桁に作用する荷重: 橋軸直角方向
2. 縦桁の断面力: 橋軸方向



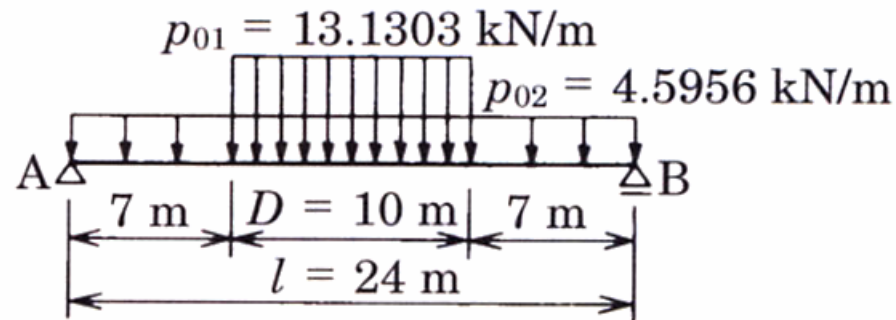
2. 縦桁の断面力(橋軸方向)

- 縦桁を単純ばりで見なして, **最大**断面力を計算
 - T荷重

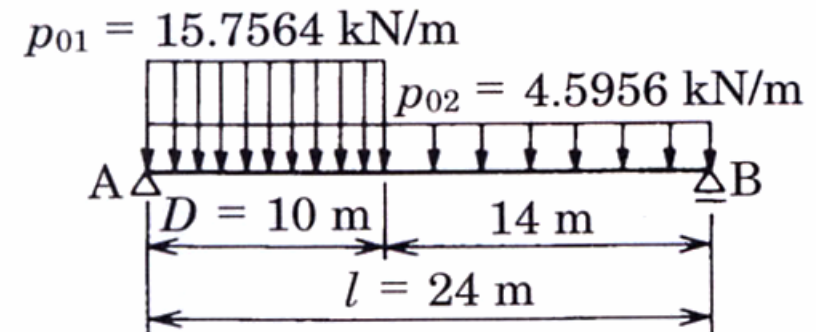


2. 縦桁の断面力(橋軸方向)

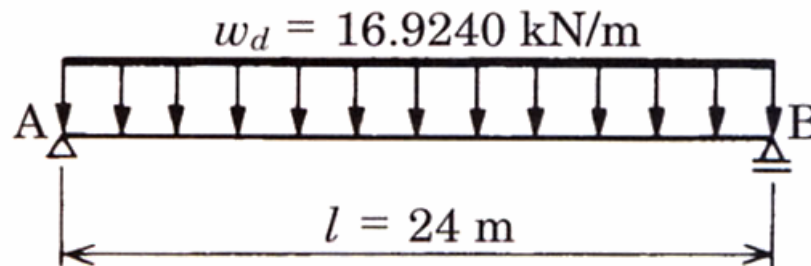
- 縦桁を単純ばりと見なして、**最大**断面力を計算
 - 主桁のL 荷重, 床版の死荷重も同様 (等分布荷重)



L 荷重 (モーメント)

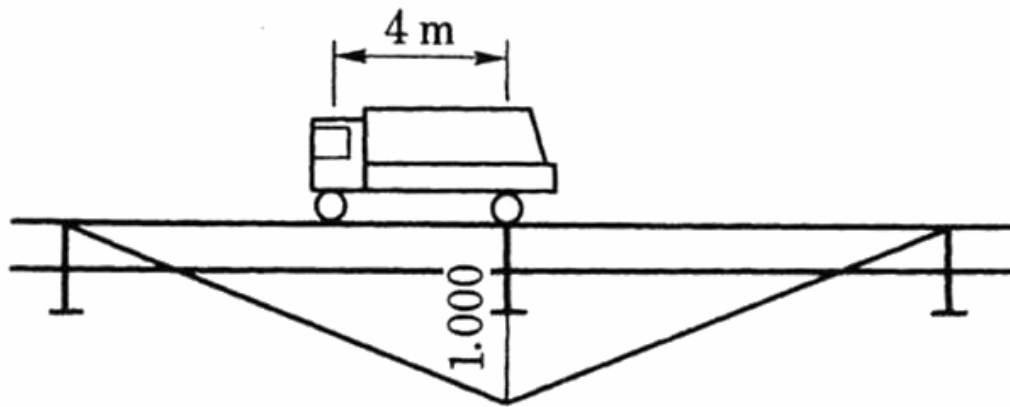


L 荷重 (せん断力)

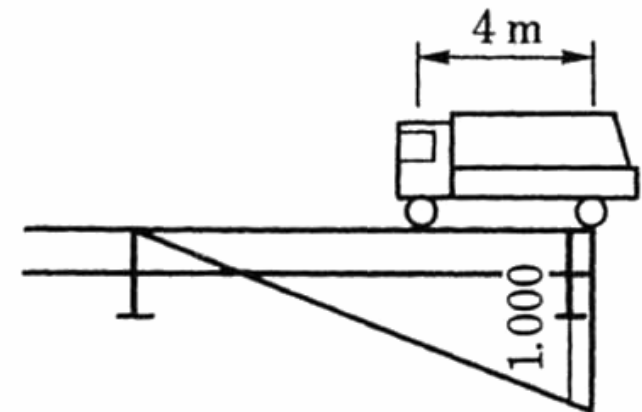


床版の死荷重

床桁の設計荷重 (T荷重)



(a) 中間床げた用

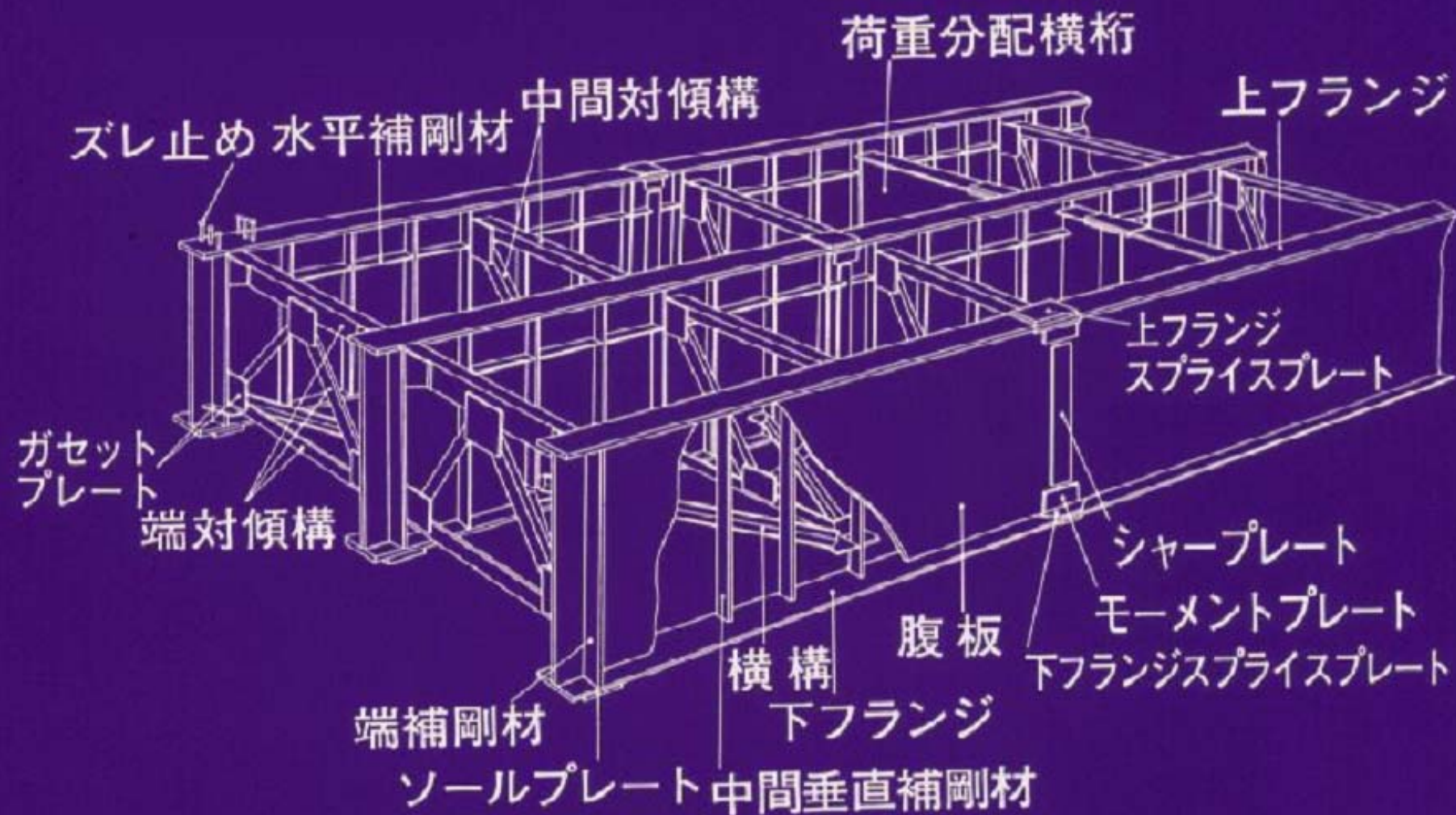


(b) 端床げた用

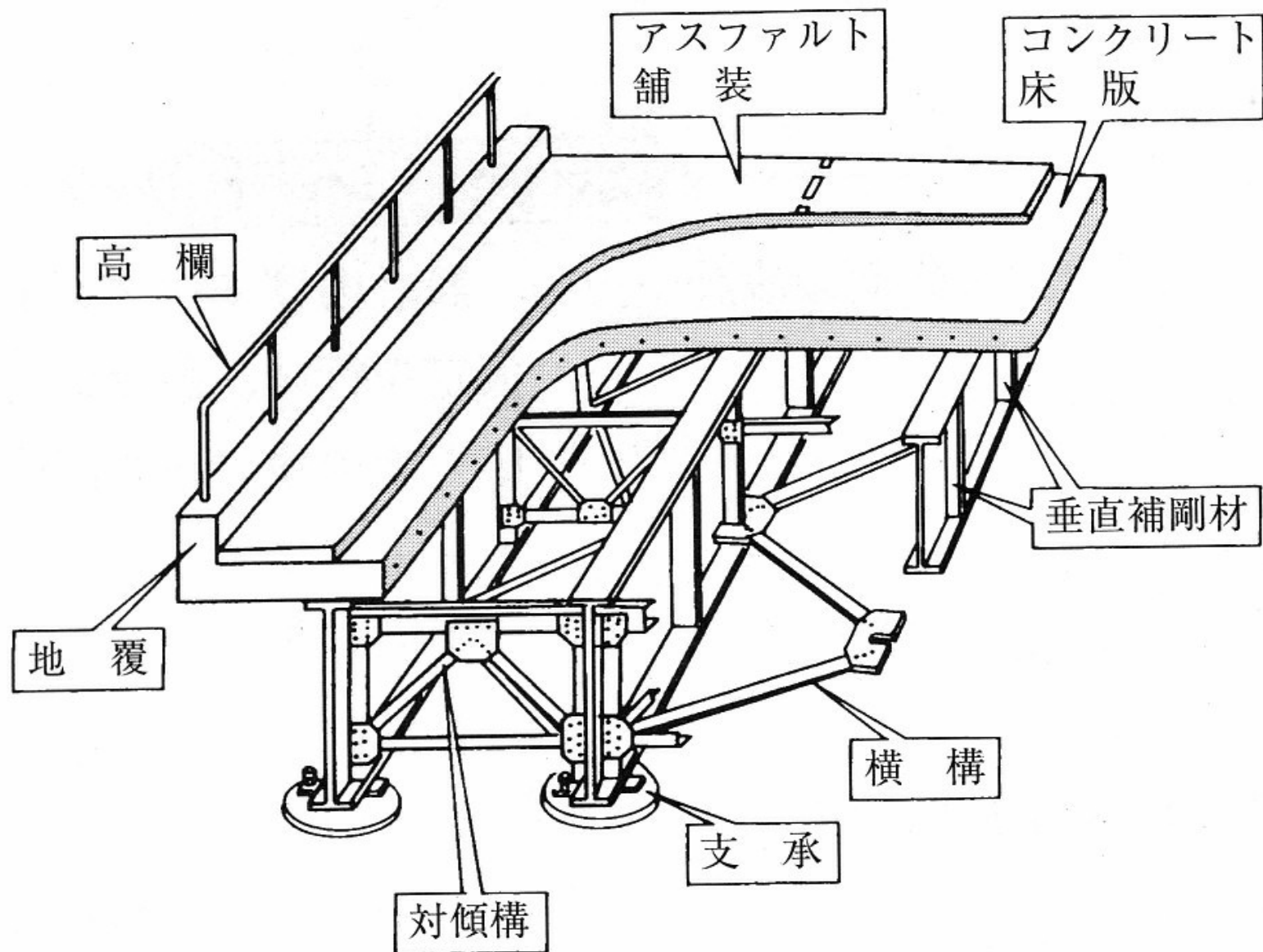
I桁橋



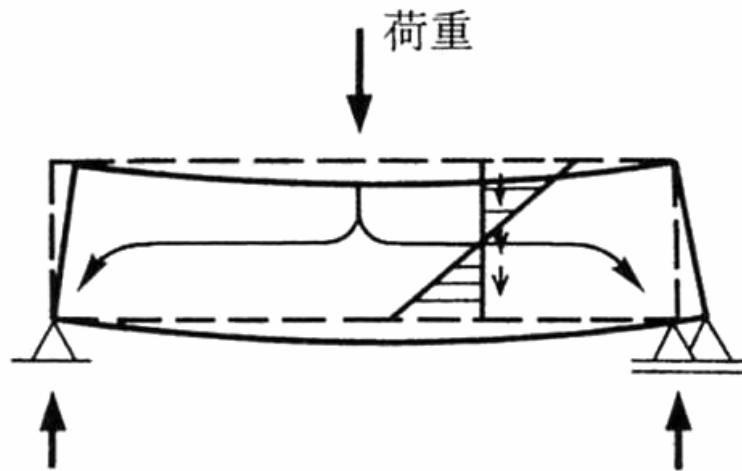
I桁構造図



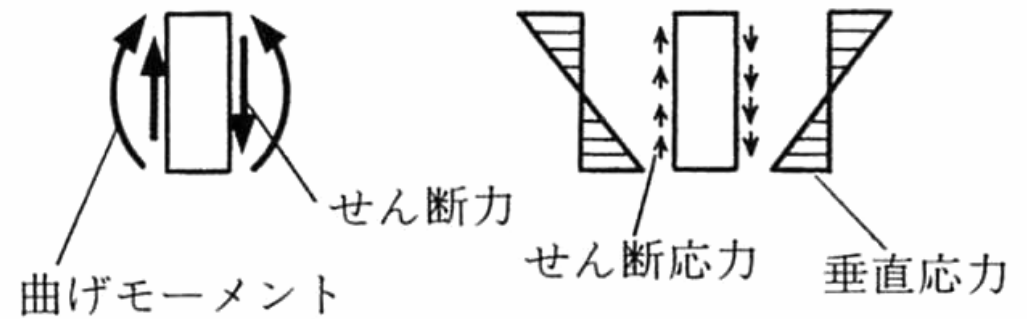
I桁橋



はり部材

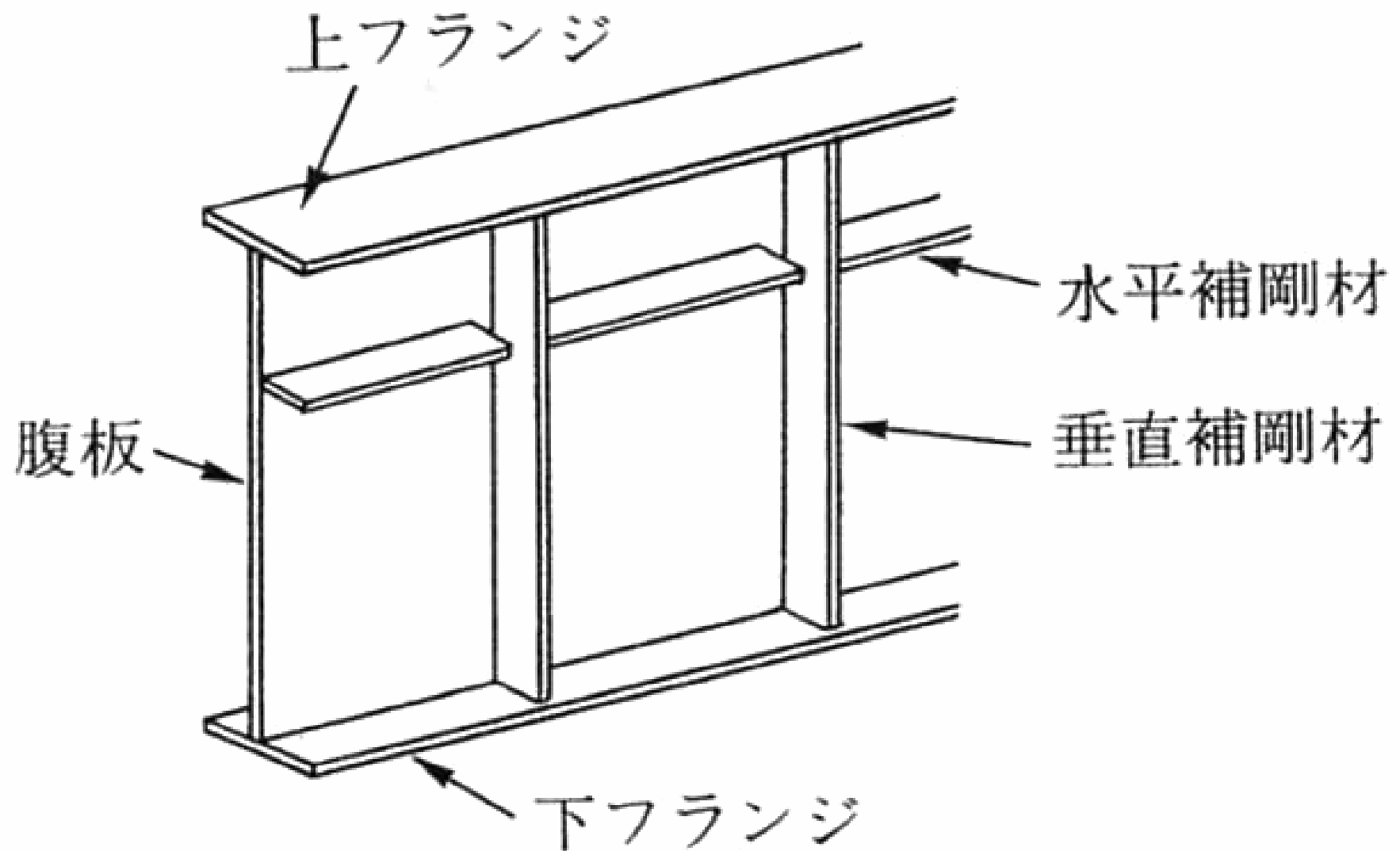


(a) 荷重の伝達と変形

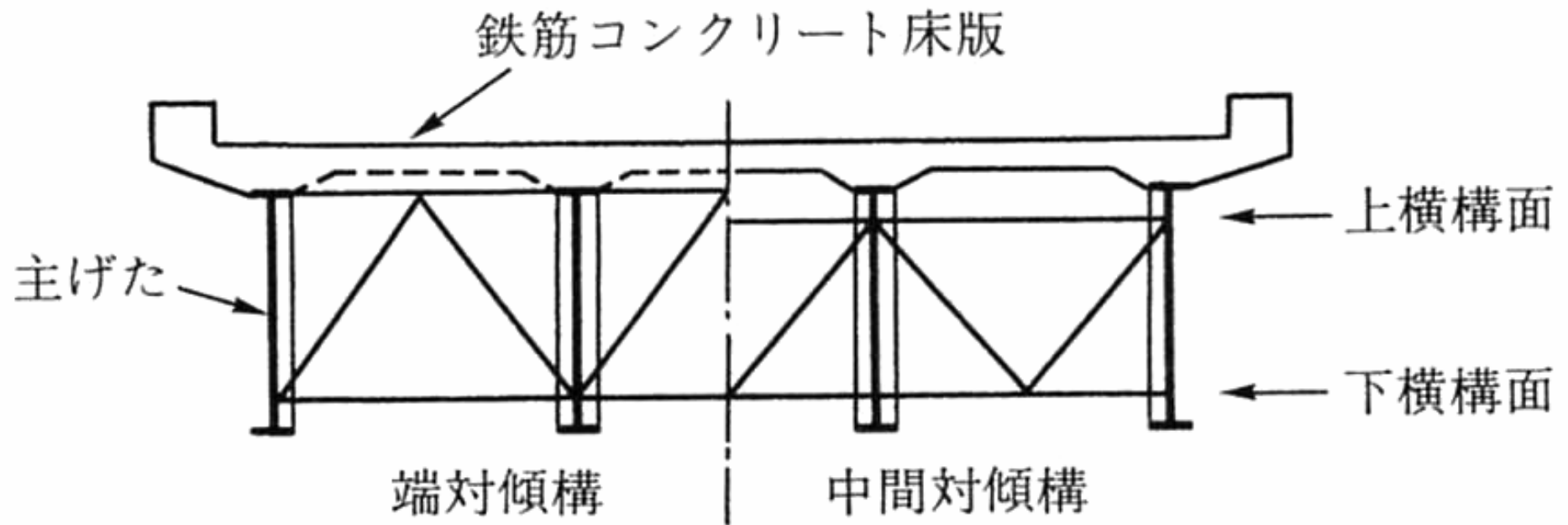


(b) 断面力と応力

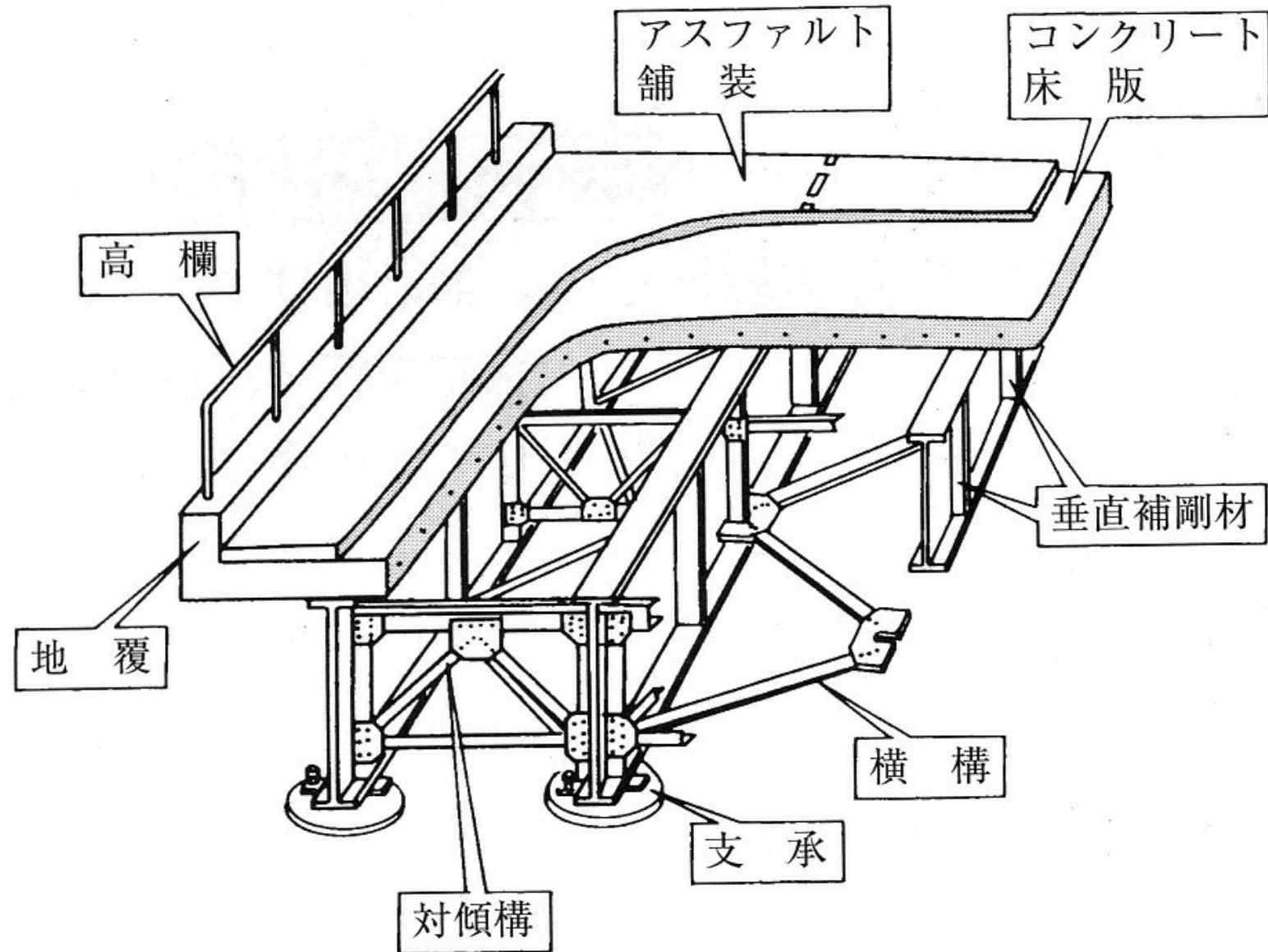
I桁



I桁橋の橋桁断面



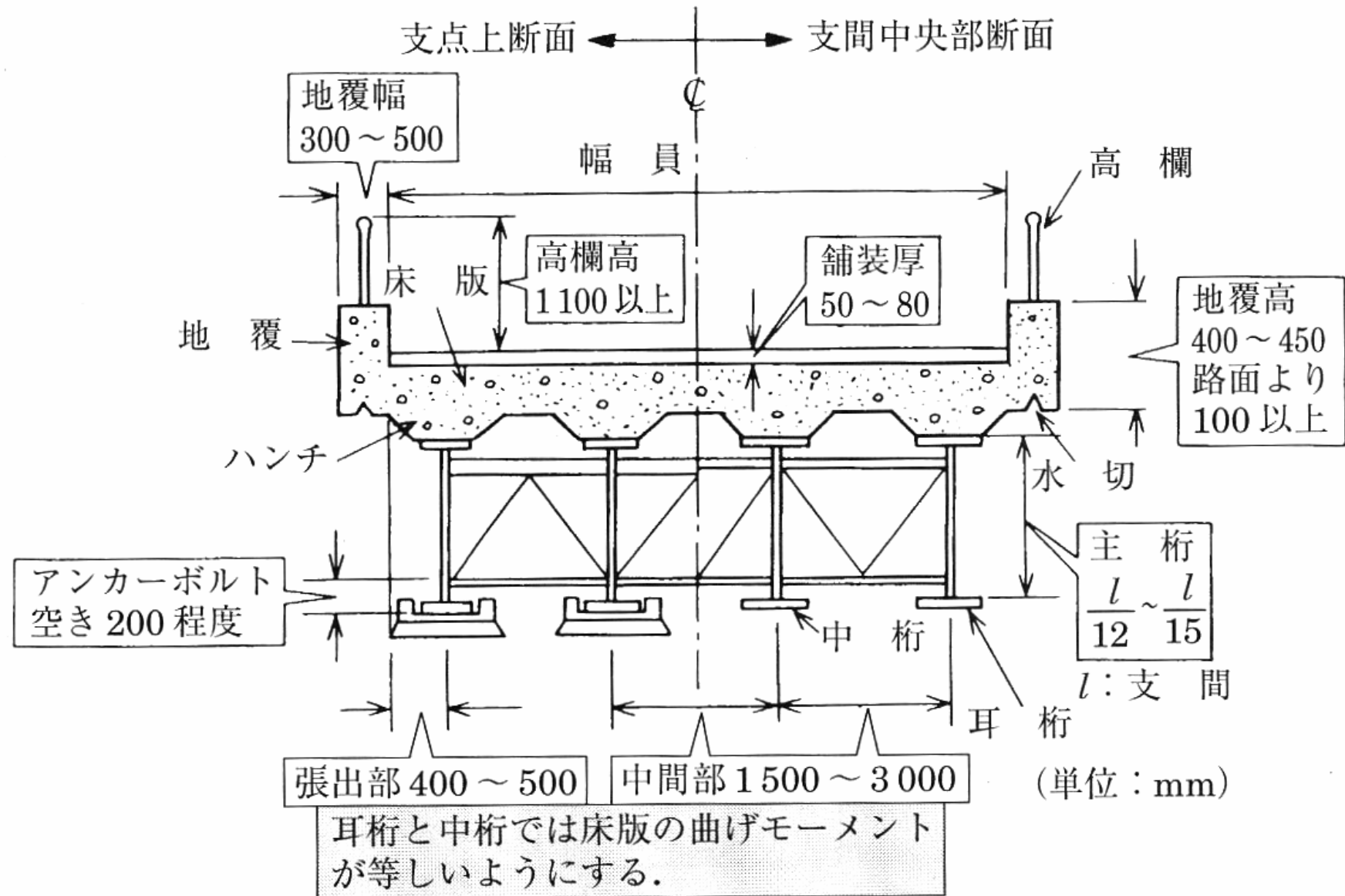
I桁橋の構成



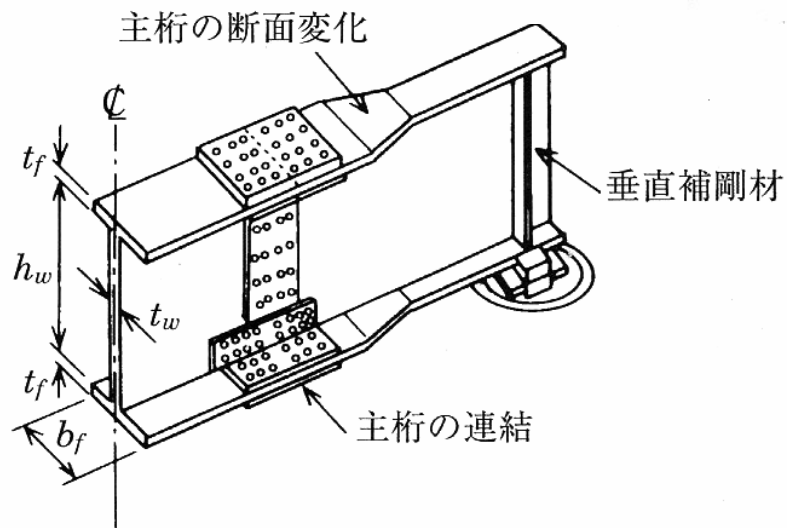
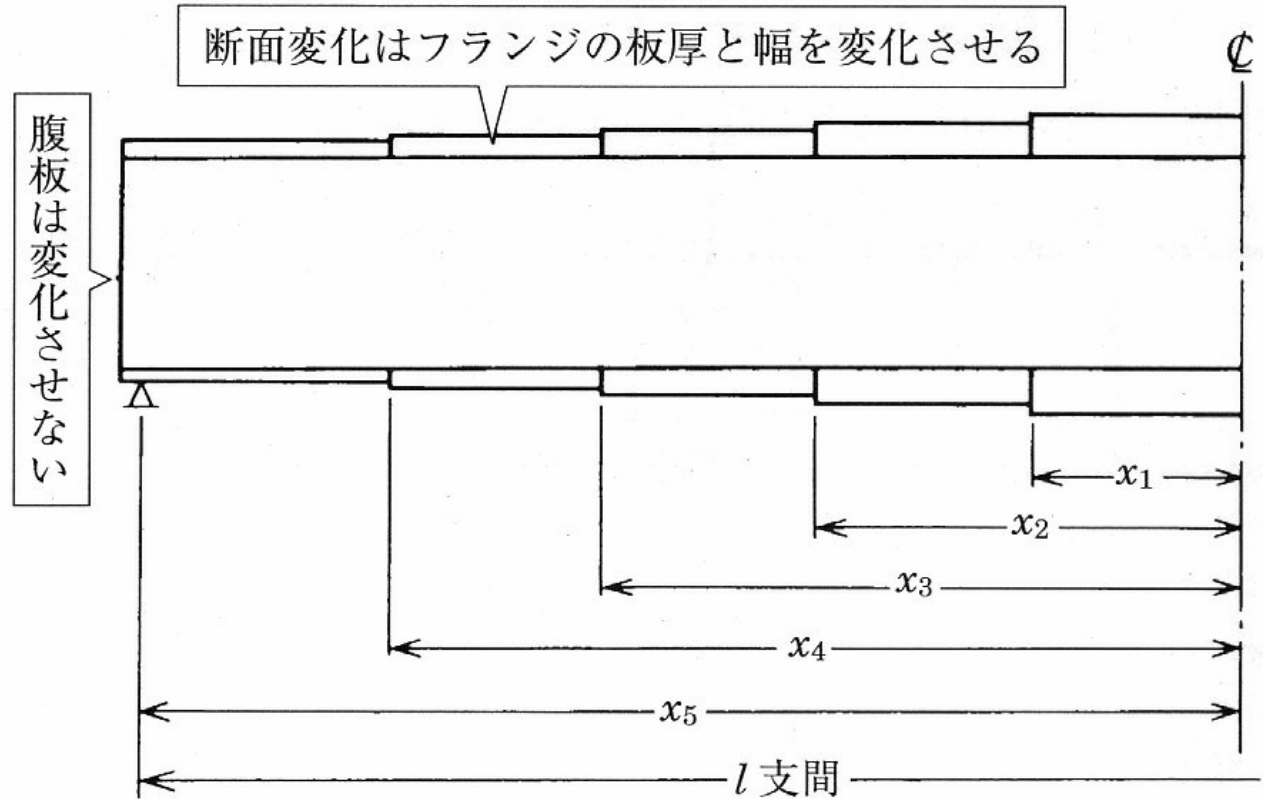
I桁橋の設計手順

1. 設計条件：橋のスパン，幅員，形式などの設定
2. 概略設計：主桁間隔などの概略寸法の決定
3. 床版の設計
4. 主桁の設計：主桁の断面，断面変化，連結など
5. 2次部材の設計：対傾構，横構

概略設計(計画)

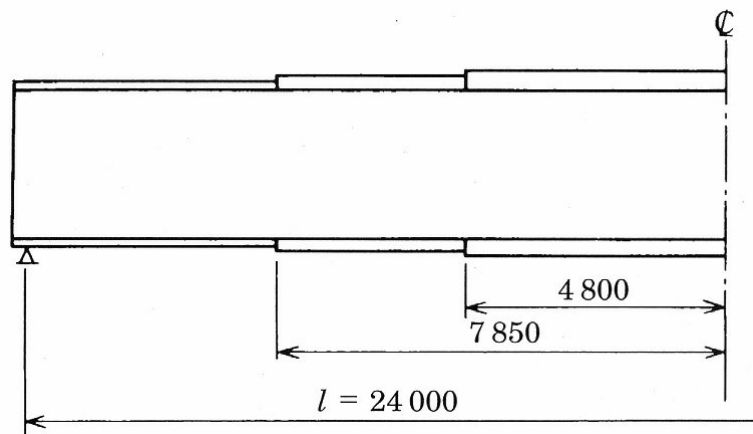
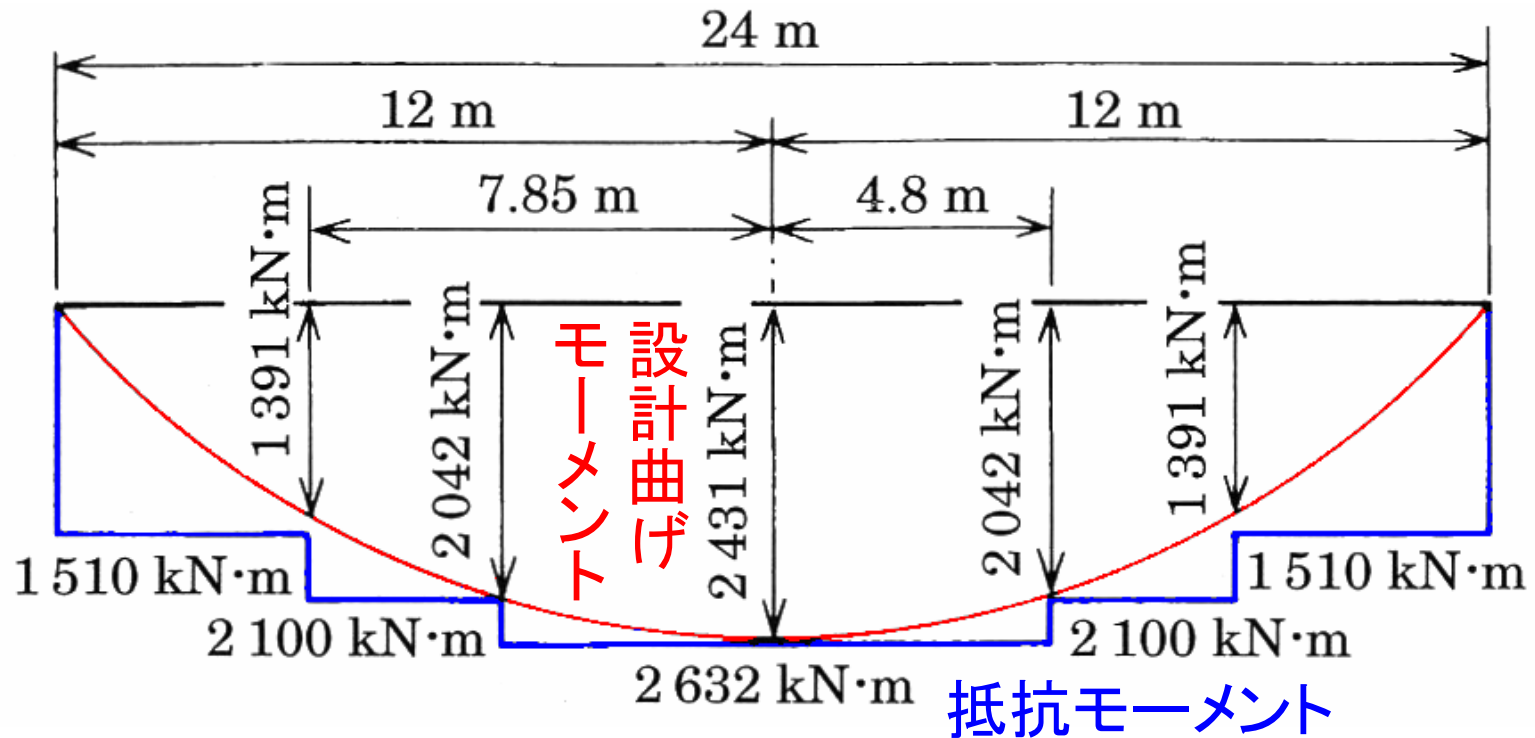


断面変化

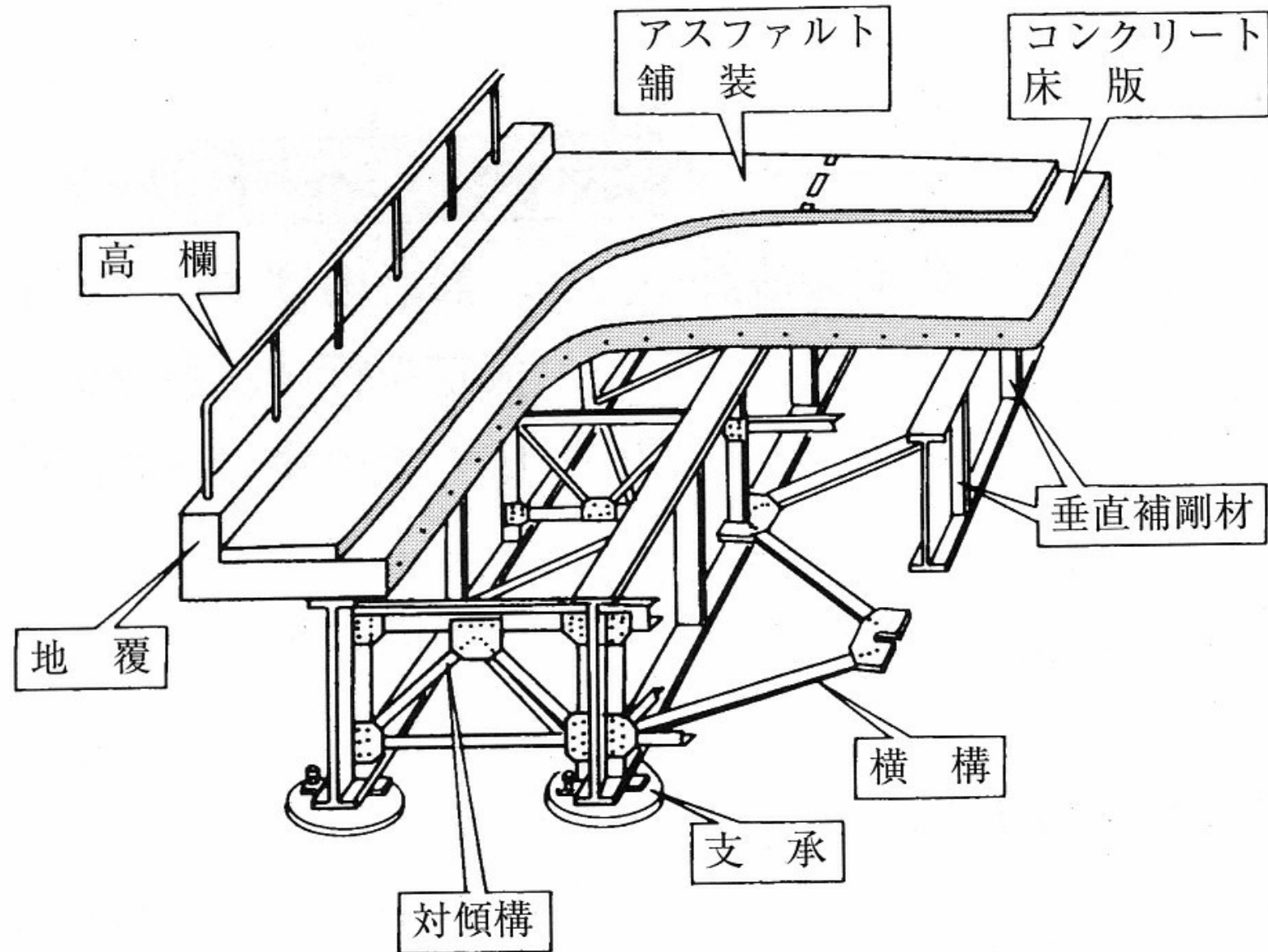


変化数 変化位置	1	2	3	4
x_1	$0.3385l$	$0.2000l$	$0.2185l$	$0.1900l$
x_2		$0.3271l$	$0.3280l$	$0.2855l$
x_3			$0.4190l$	$0.3620l$
x_4				$0.4350l$
適用支間	$l < 24 \text{ m}$	$24 \leq l < 35$	$35 \leq l < 45$	$45 \leq l$

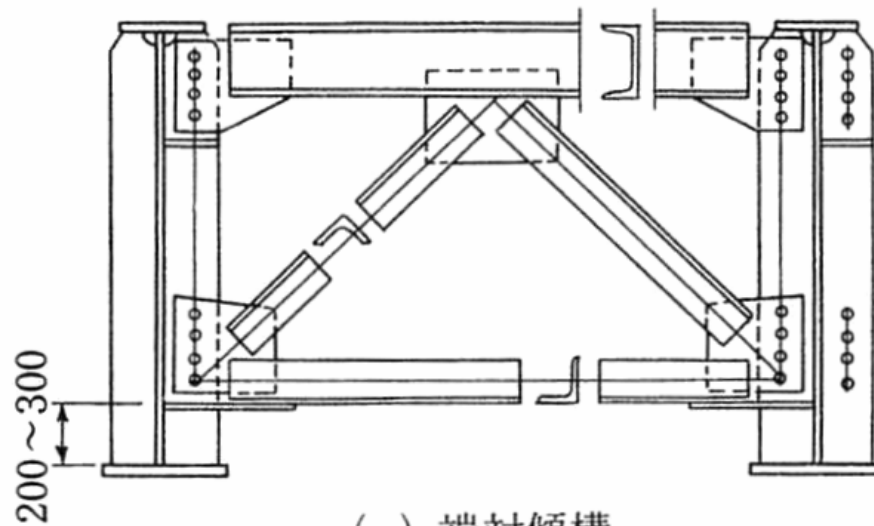
曲げモーメントと断面変化



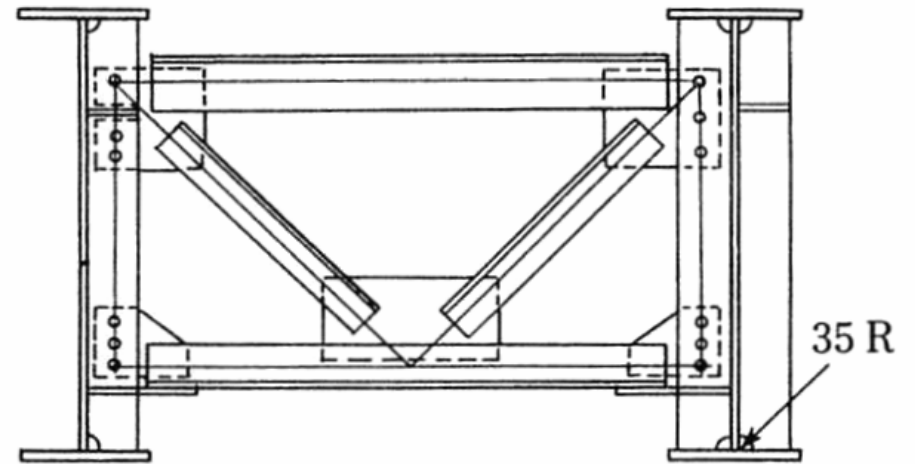
I桁橋の構成



対傾構

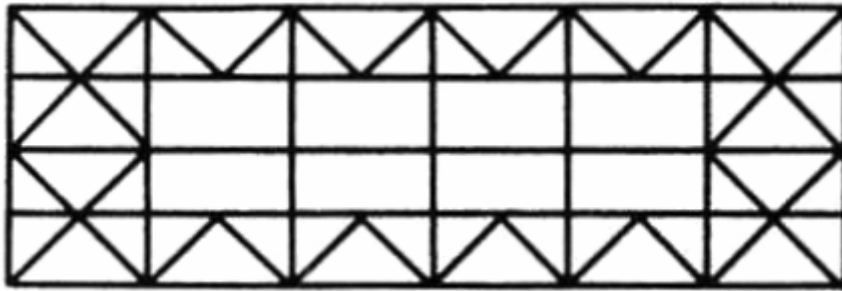
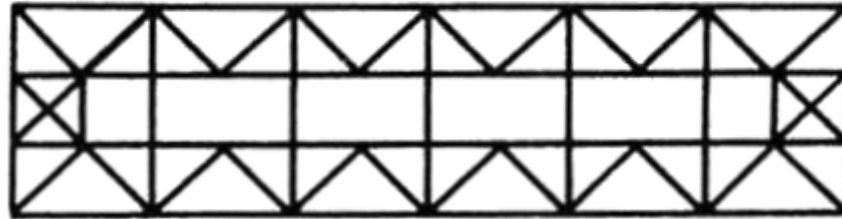
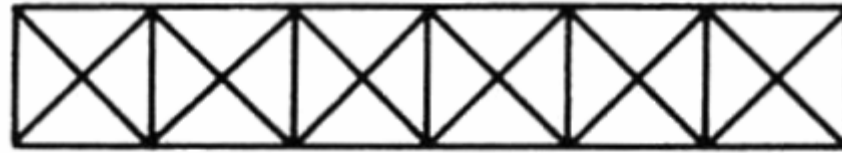


(a) 端対傾構



(b) 中間対傾構

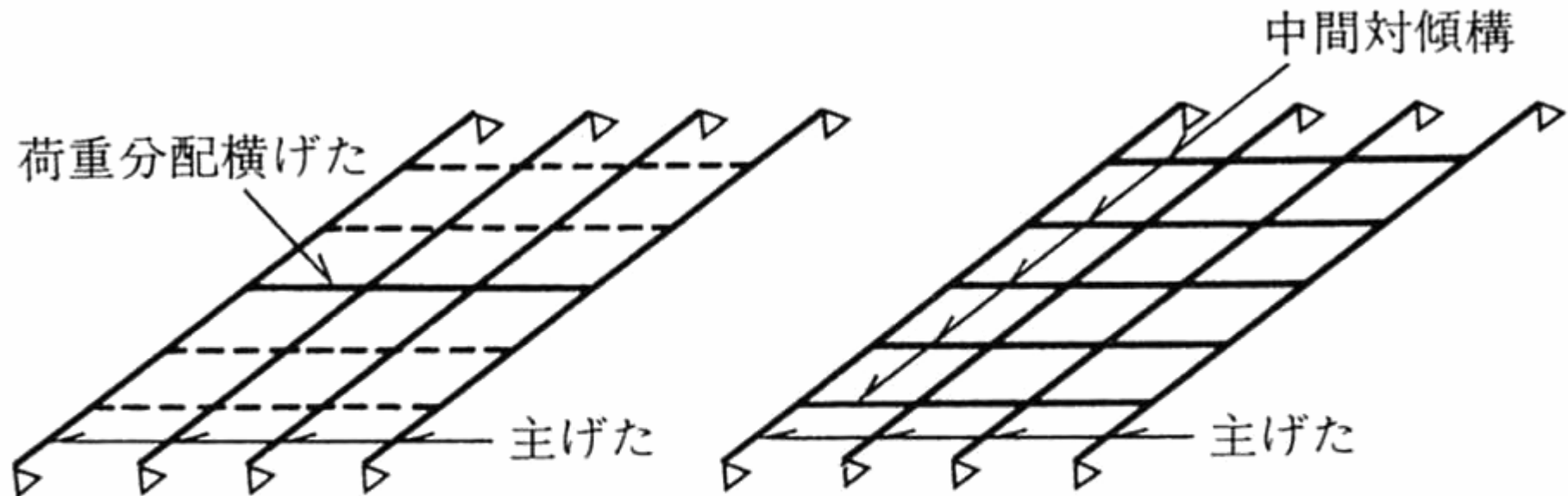
横構の配置例



荷重分配横桁



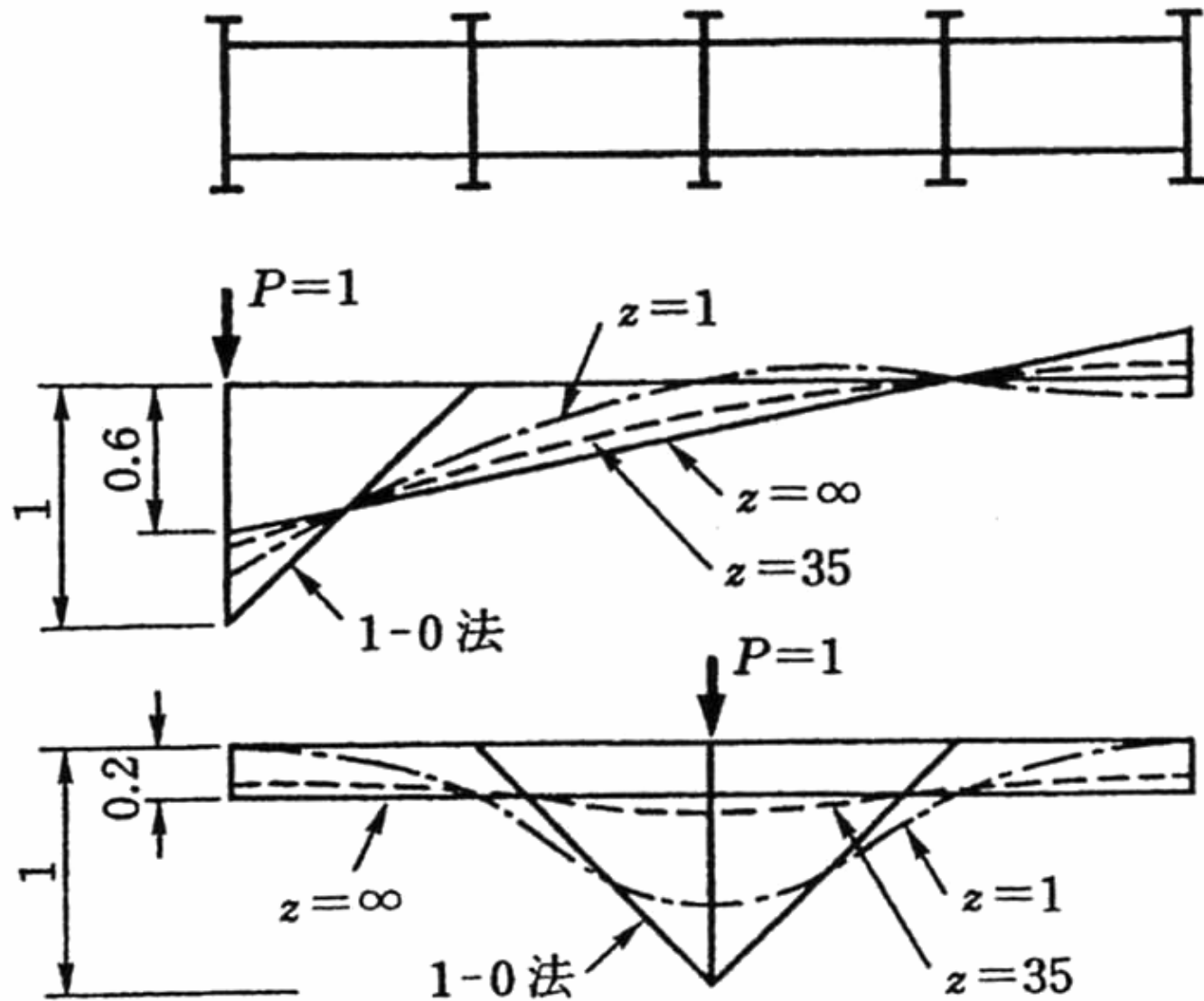
格子桁モデル



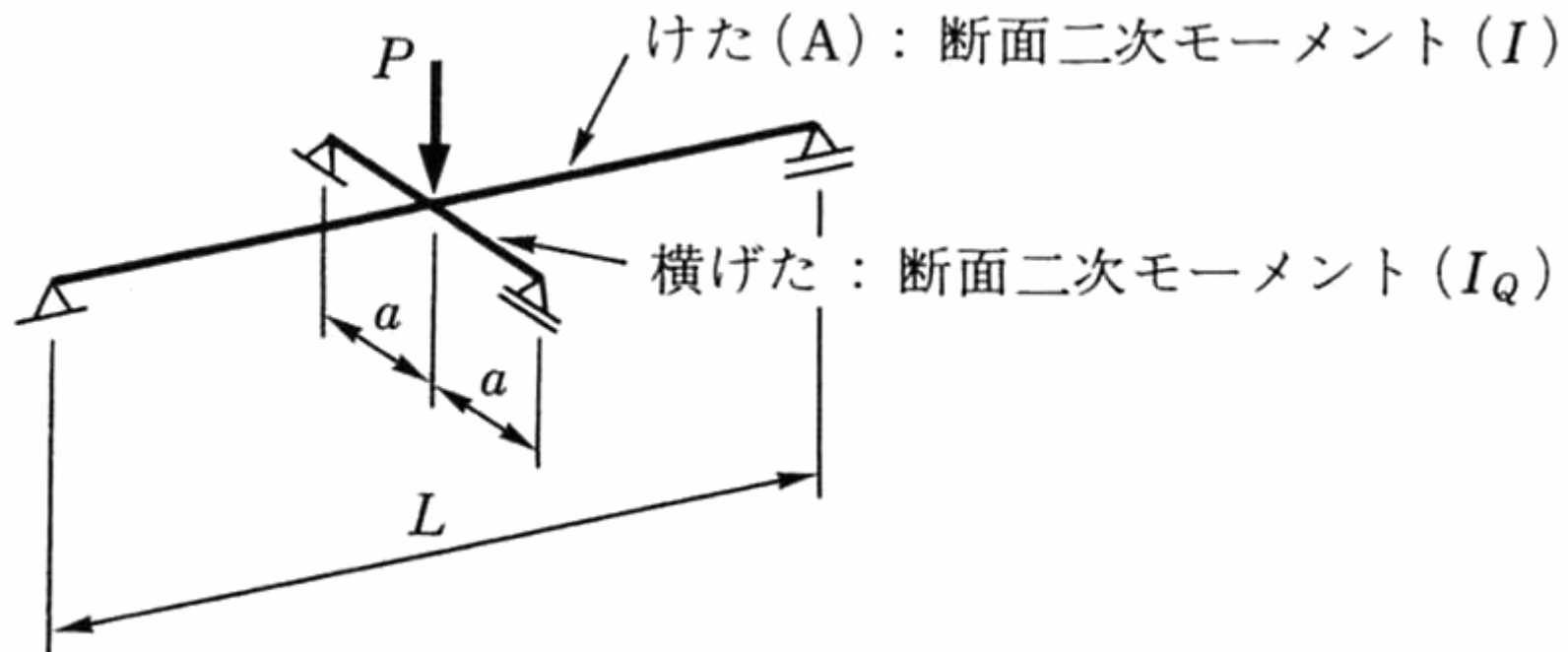
(a) 荷重分配横げた
を設ける場合

(b) 中間対傾構を分配げた
とする場合

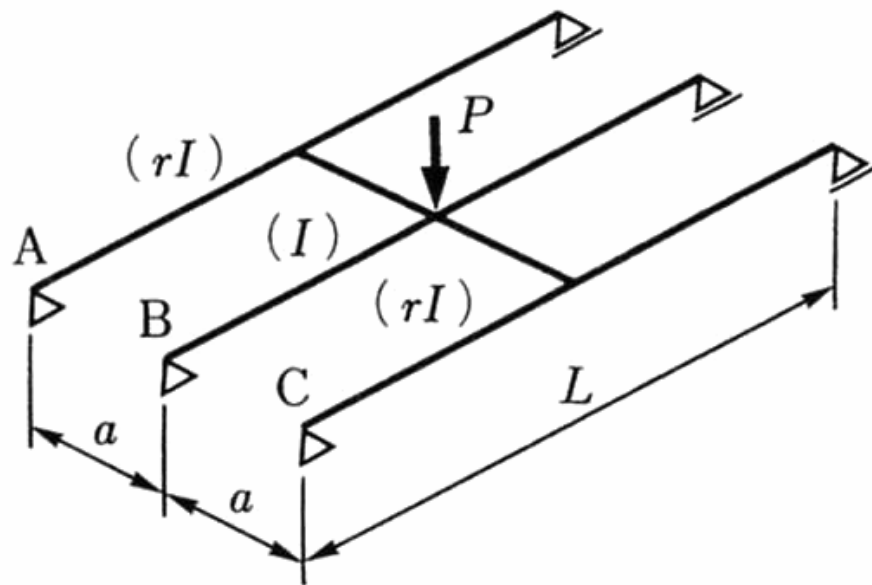
荷重分配



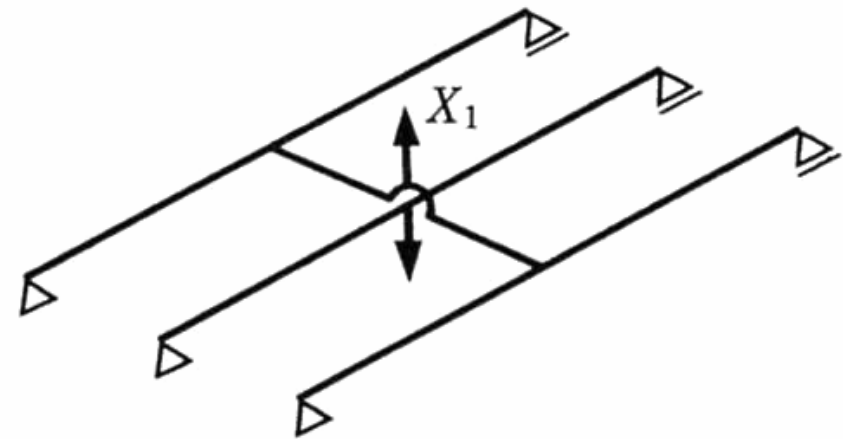
簡単な分配計算モデル



格子桁計算モデル

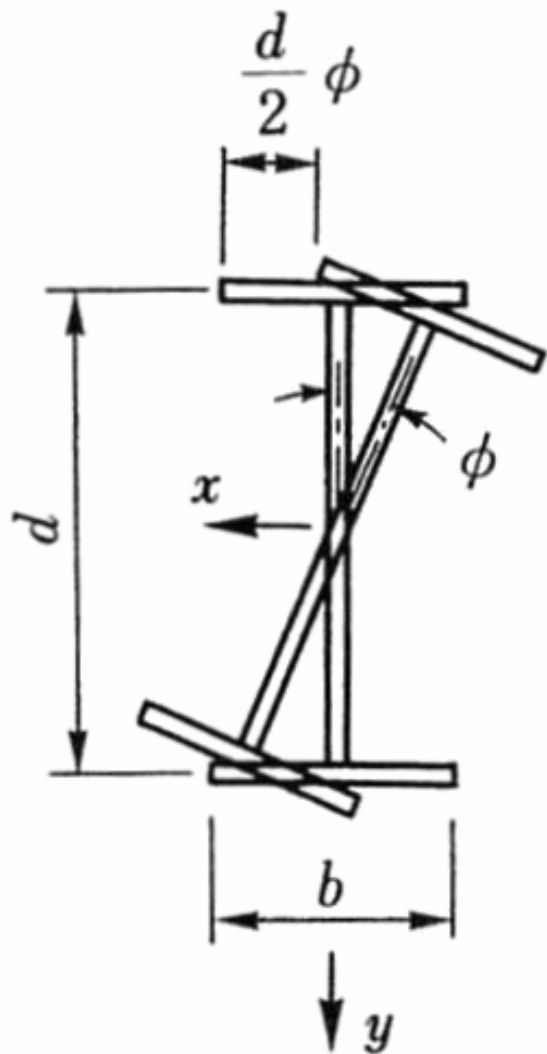


(a) 格子げた

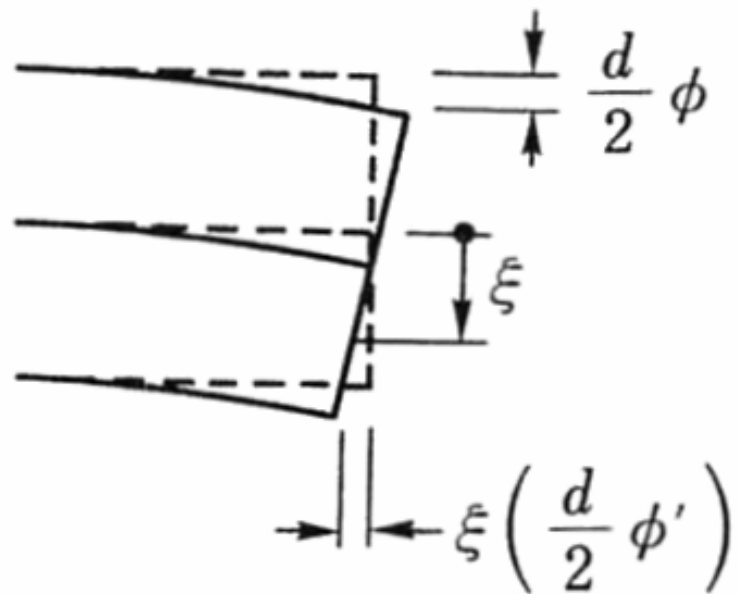


(b) 静定基本系と不静定力 (X_1)

反りねじれ

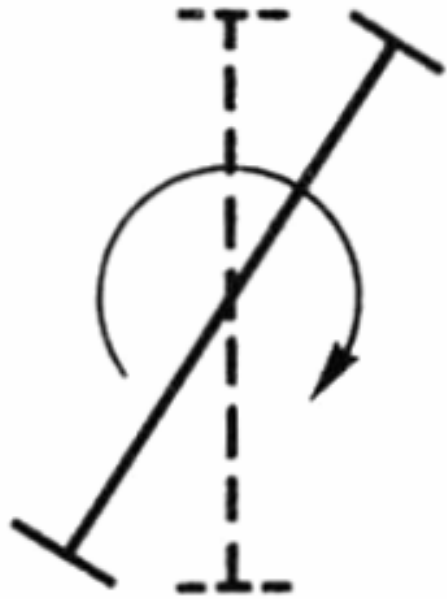


(a) 断面の回転

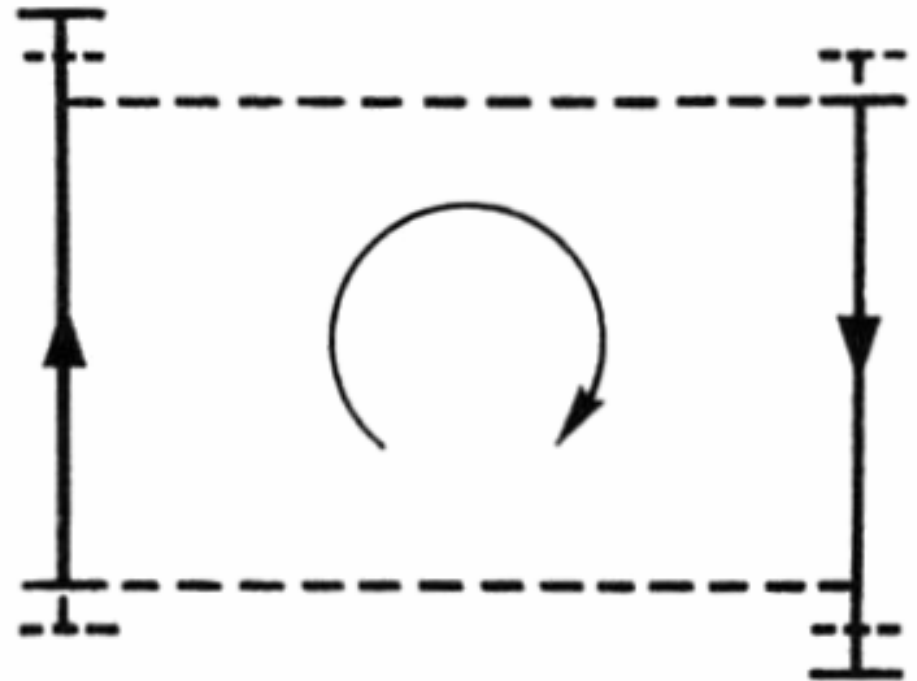


(b) フランジの軸方向変位

I桁のねじれ

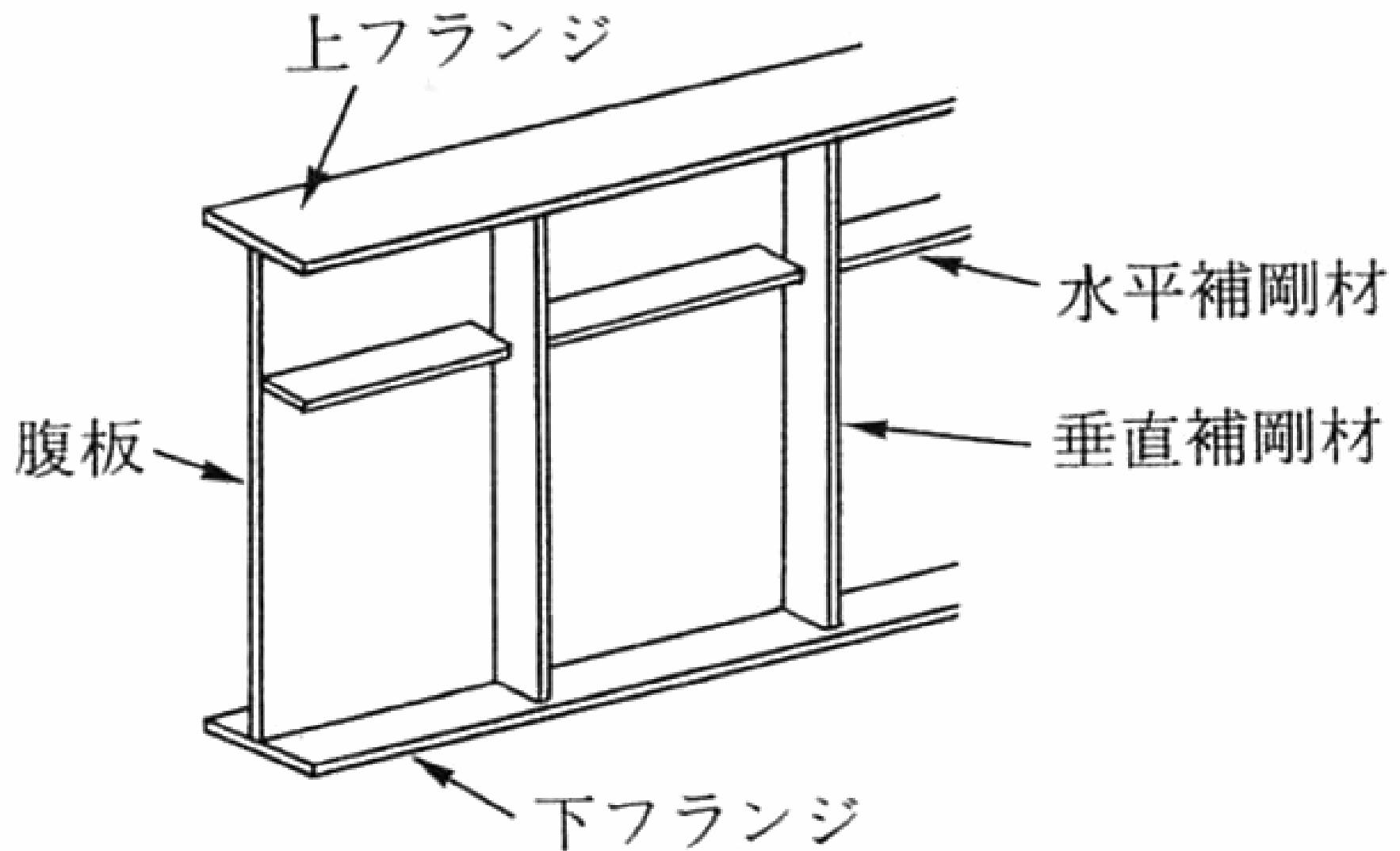


(a) 単一 I げたのねじれ

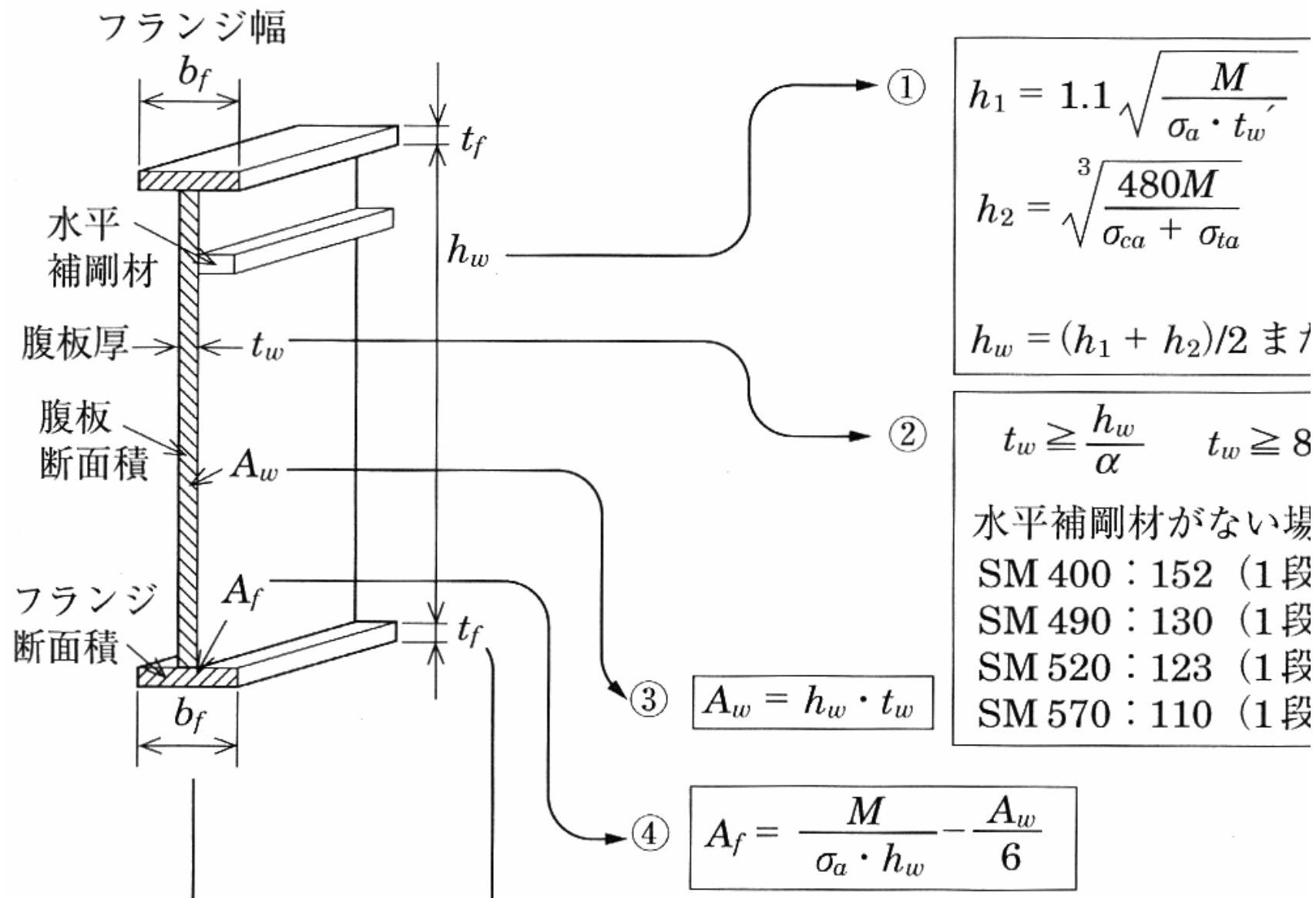


(b) 並列 I げたのねじれ

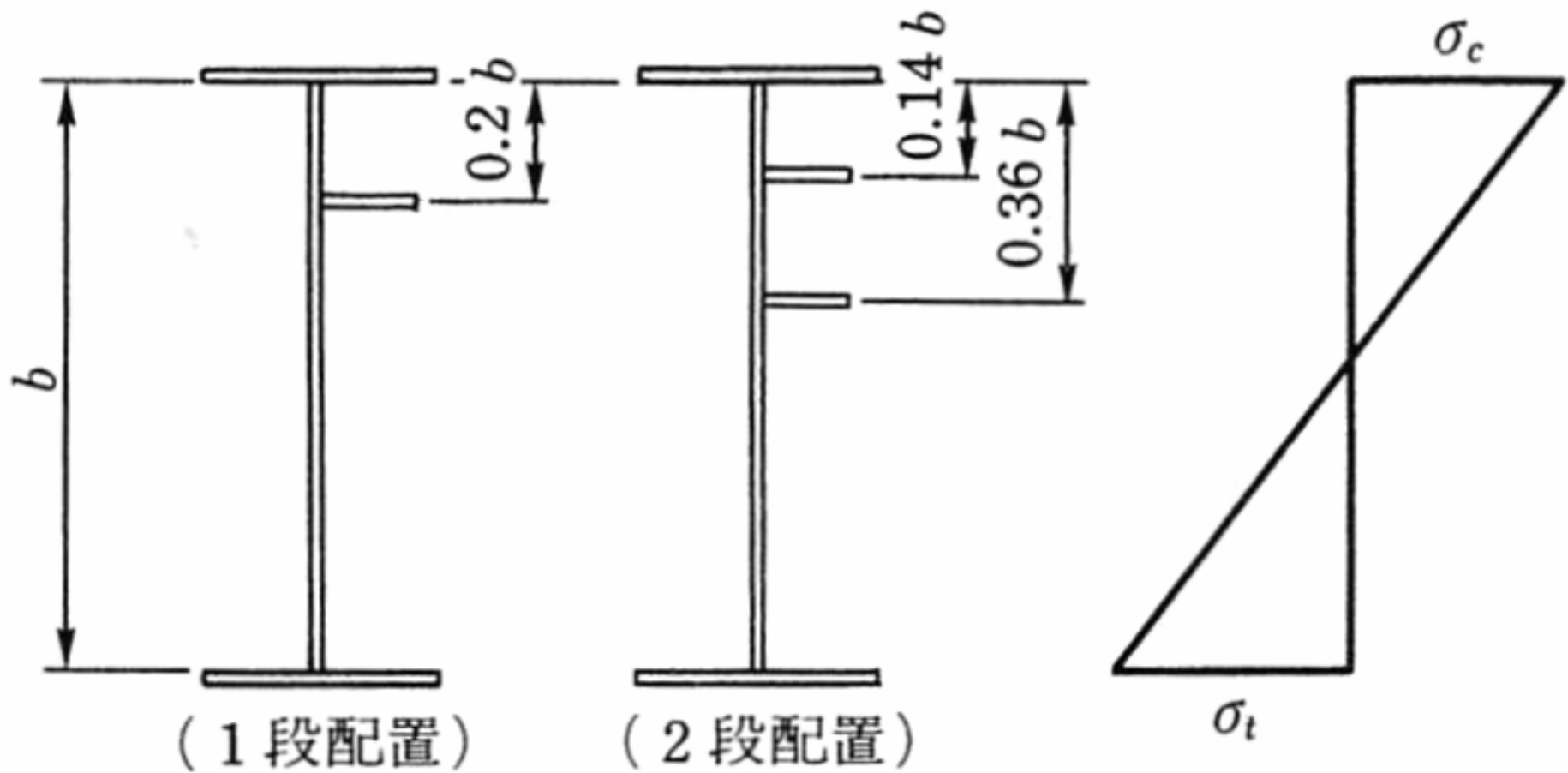
I桁



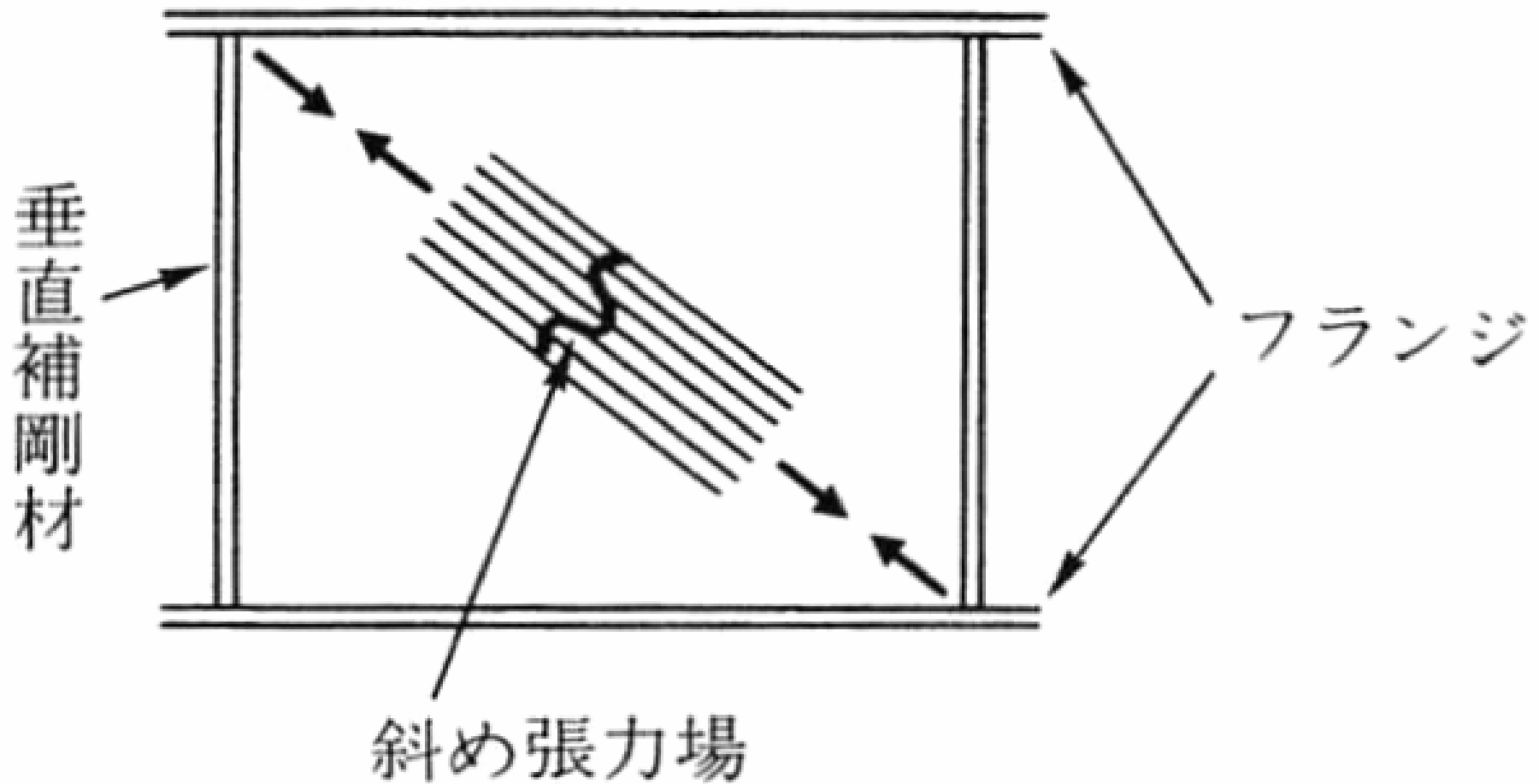
I桁部材の設計



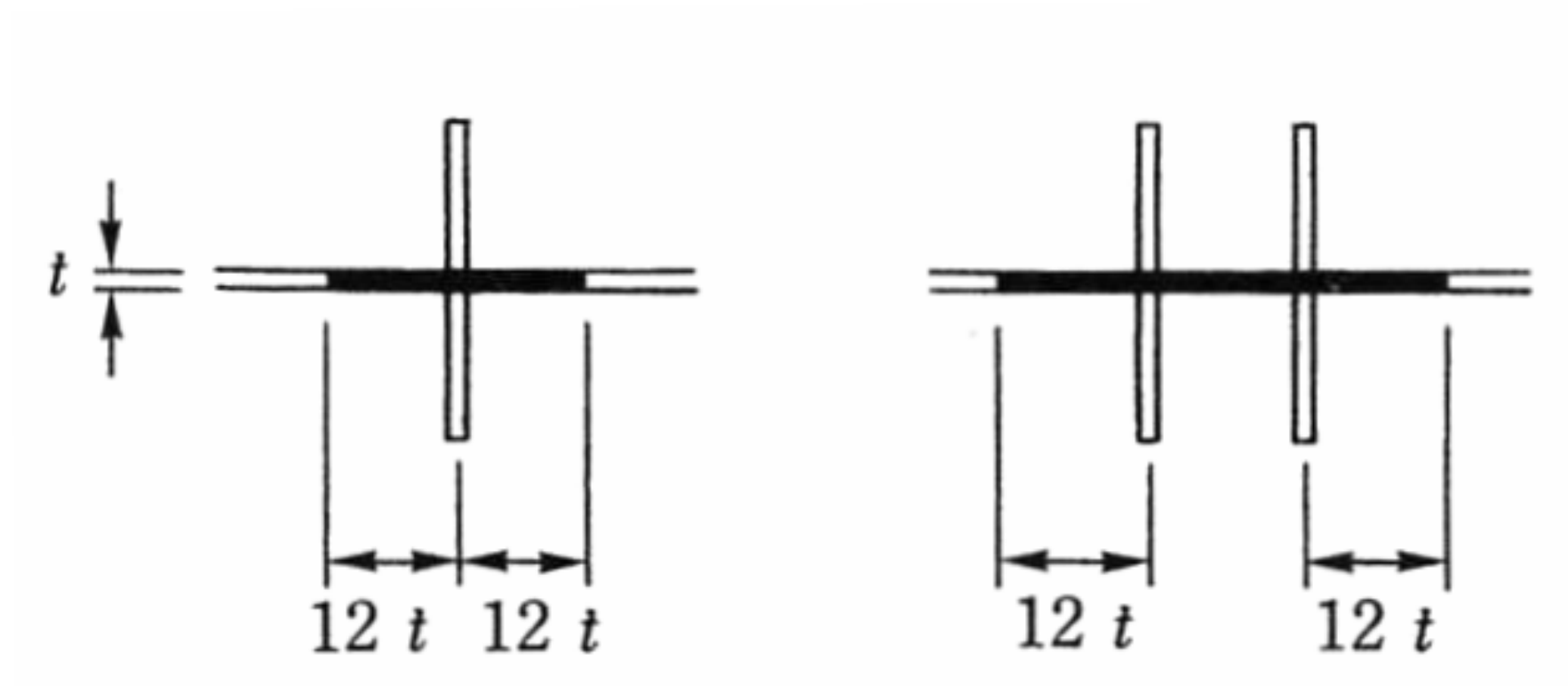
水平補剛材の配置



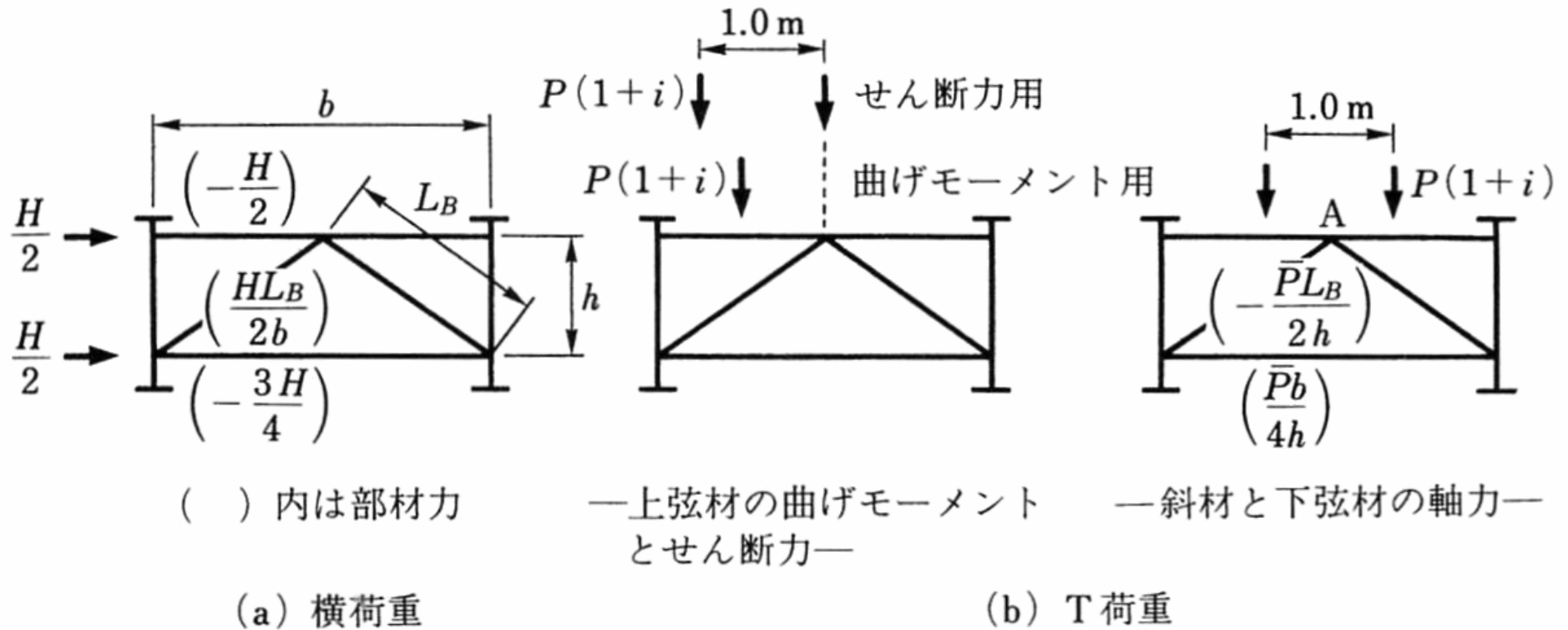
ウェブのせん断座屈



荷重集中点のウェブの有効幅

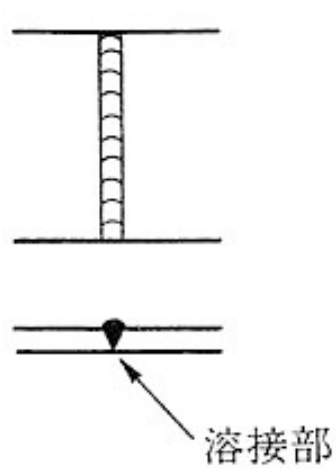


端対傾構の部材力

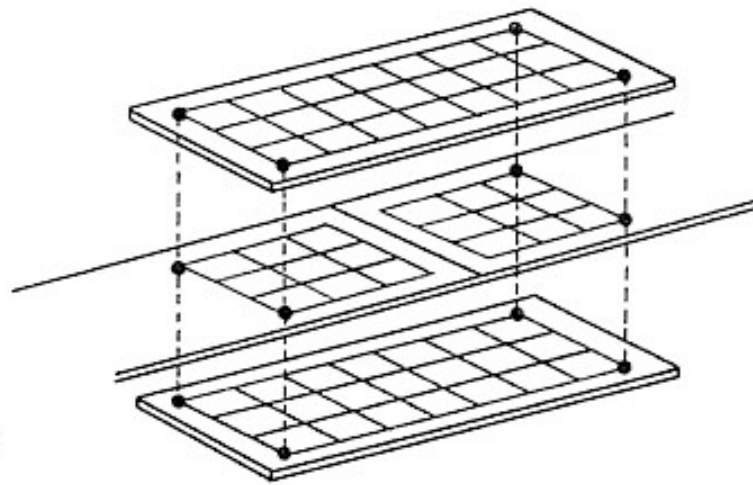


接合

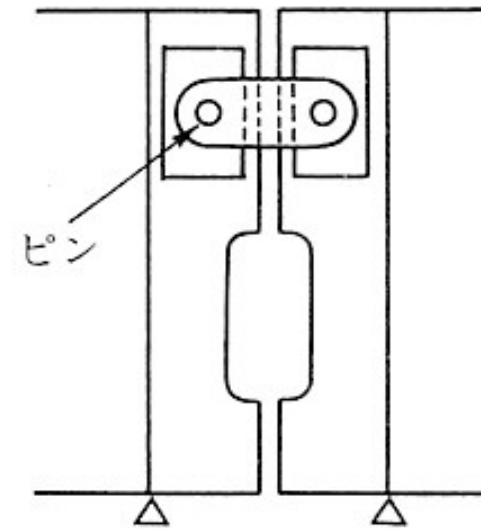
- 橋の部材をつなぎ合わせること



(a) 溶接接合

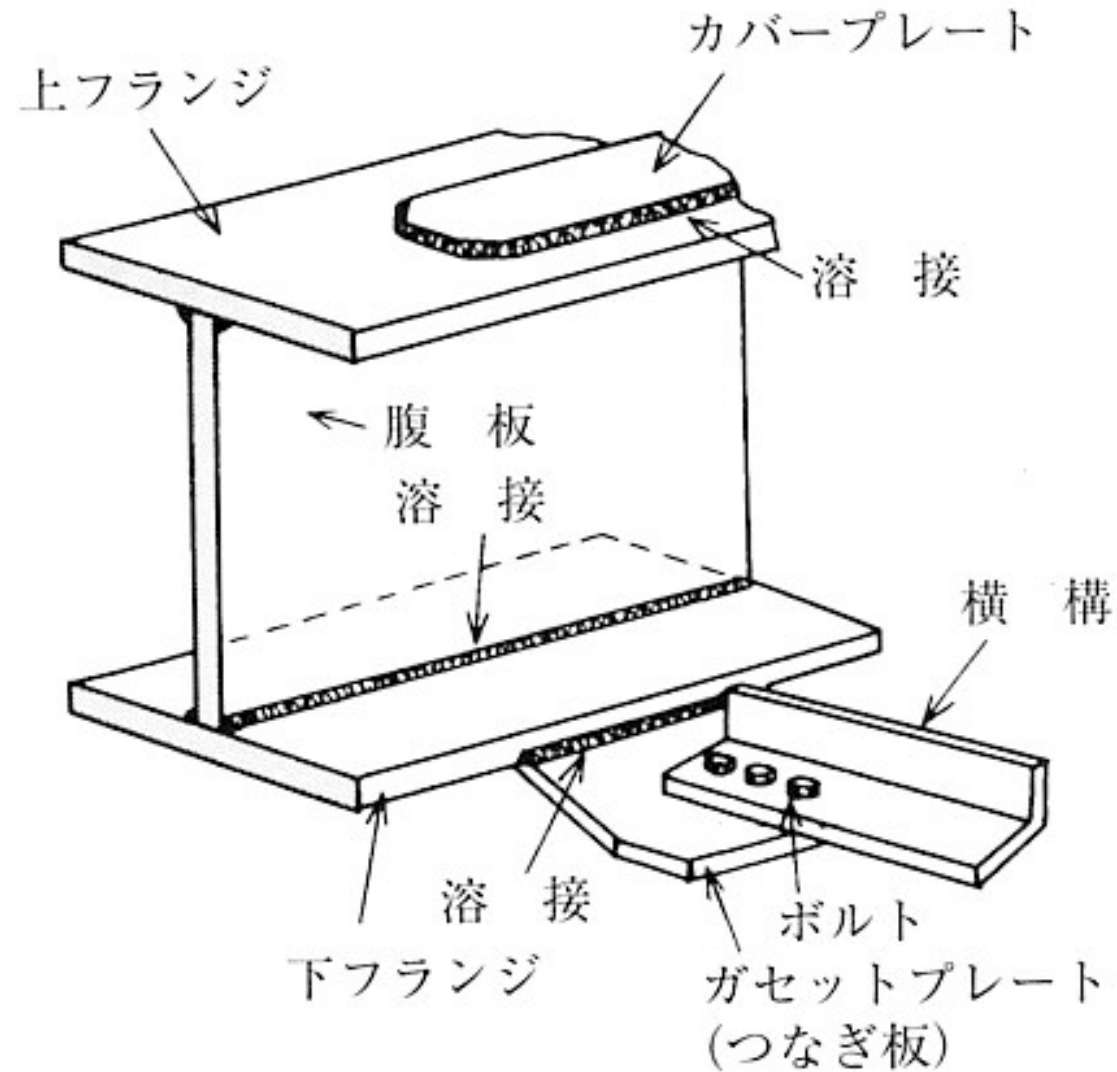


(b) ボルト接合

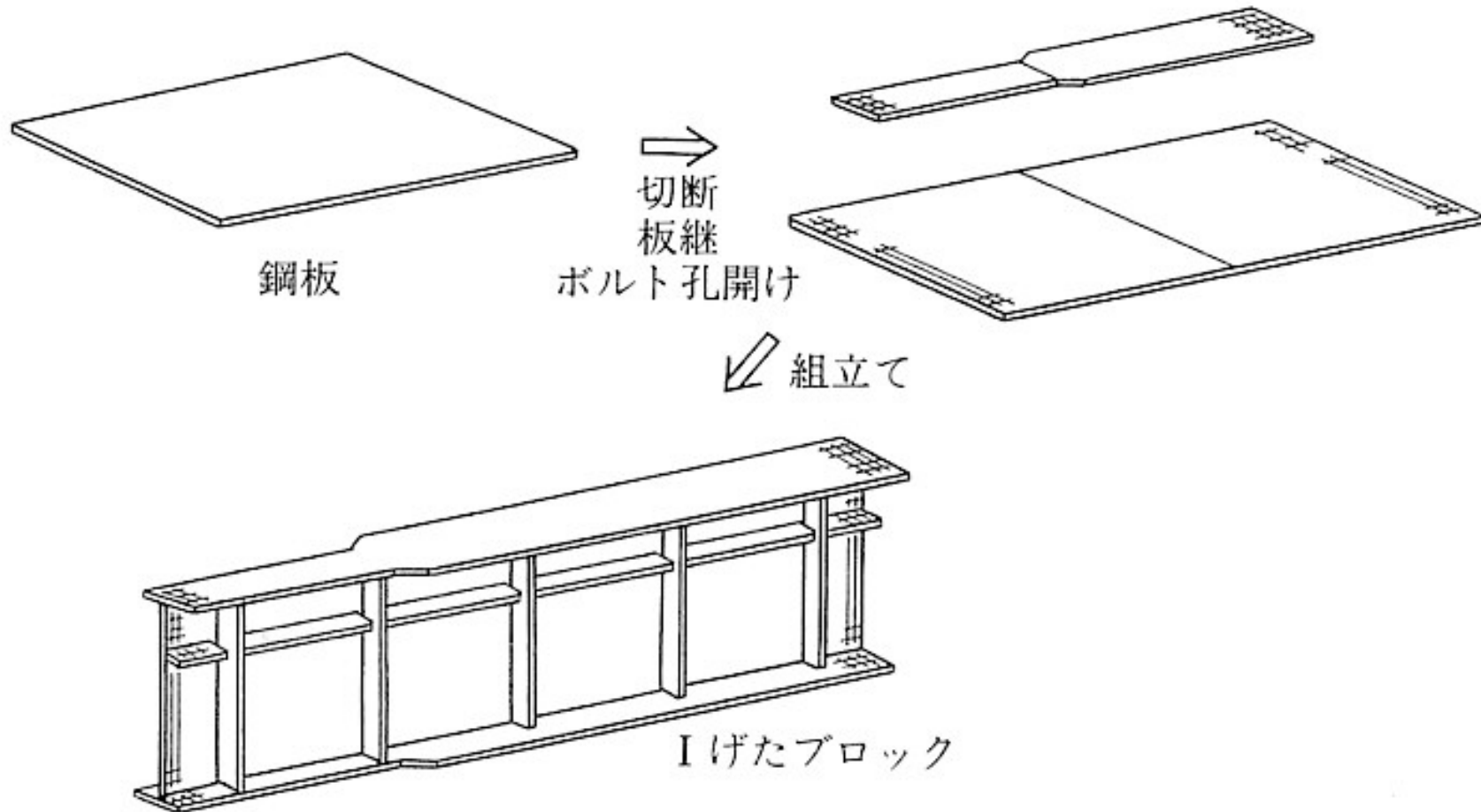


(c) ピン接合

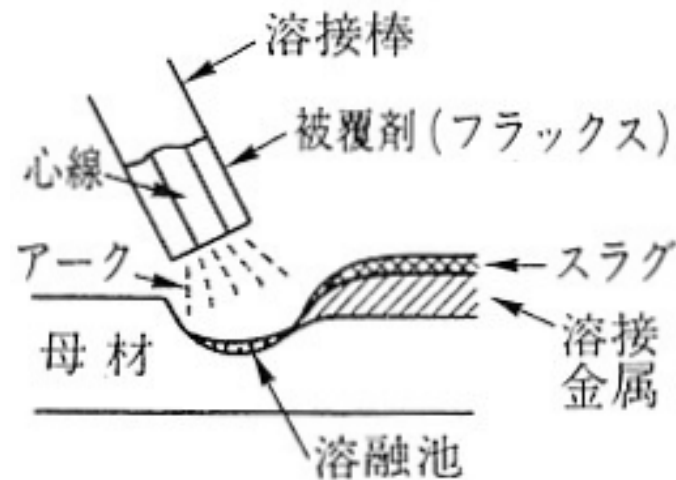
例えば、プレートガーダーの構成



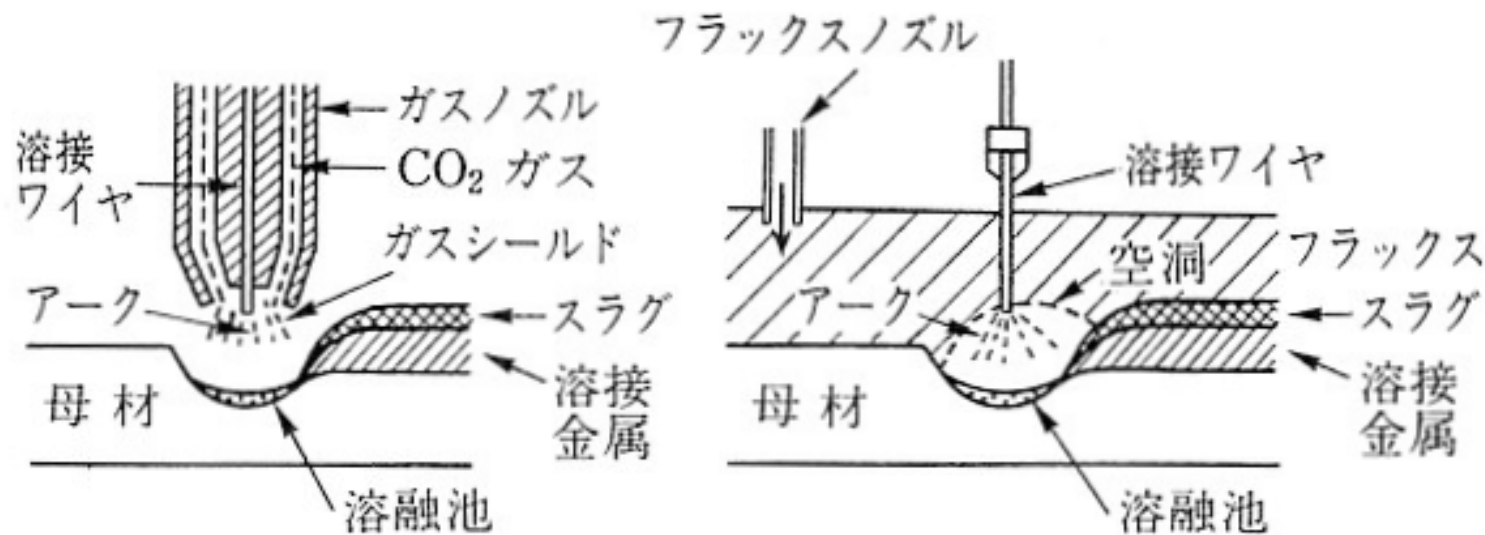
溶接による部材ブロックの製作



アーク溶接



(a) 被覆アーク溶接



(b) CO₂ ガスシールドアーク溶接 (c) サブマージアーク溶接

溶接棒



アーク溶接



アーク溶接



建設機械のフレームの溶接



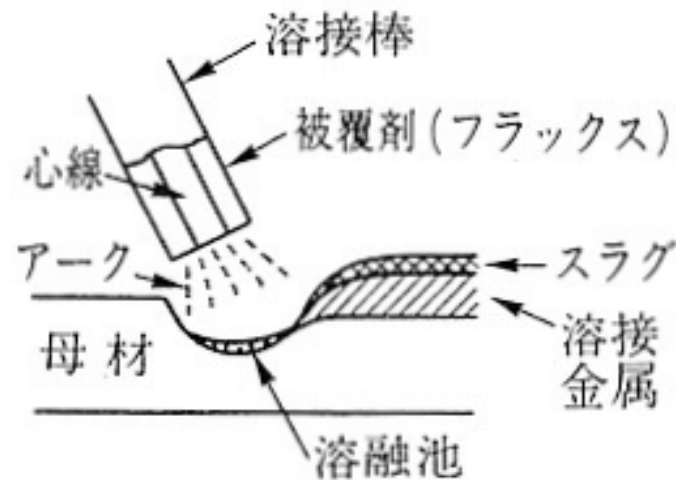
溶接ロボットによるアーク溶接



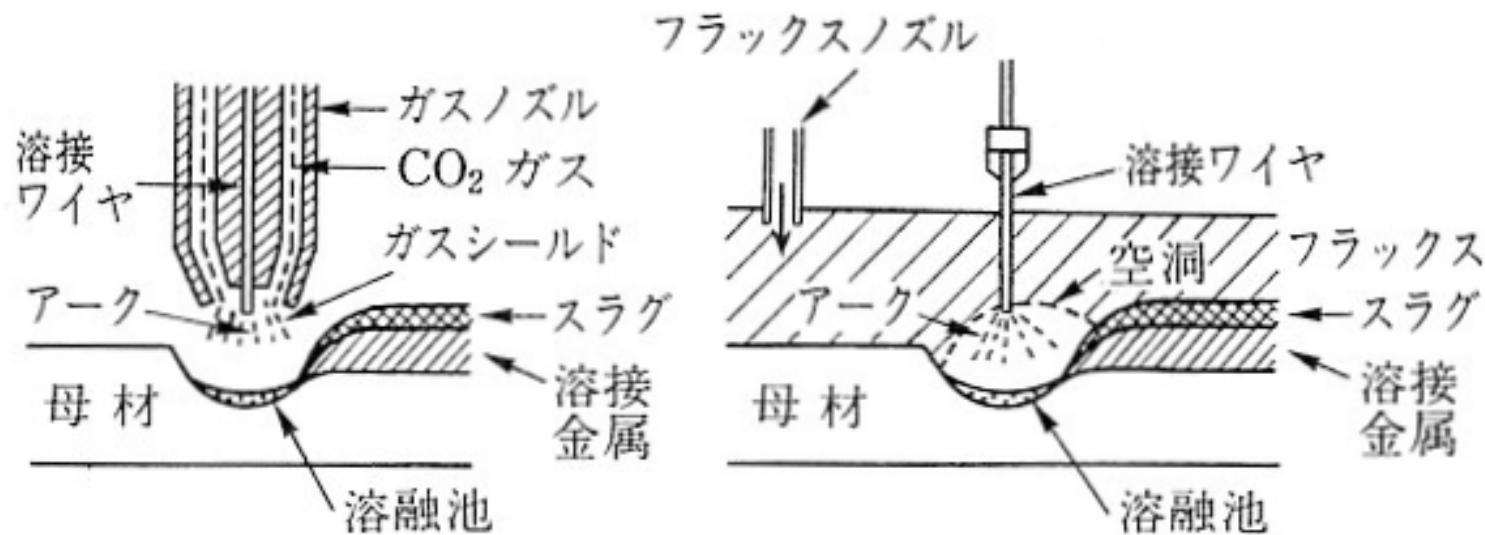
ガス溶接用トーチ



アーク溶接

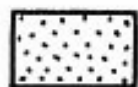
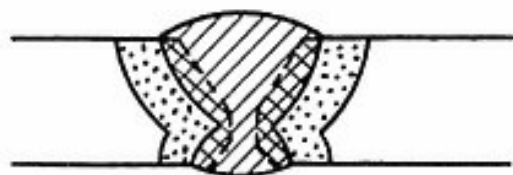


(a) 被覆アーク溶接



(b) CO₂ ガスシールドアーク溶接 (c) サブマージアーク溶接

溶接欠陥



熱影響部



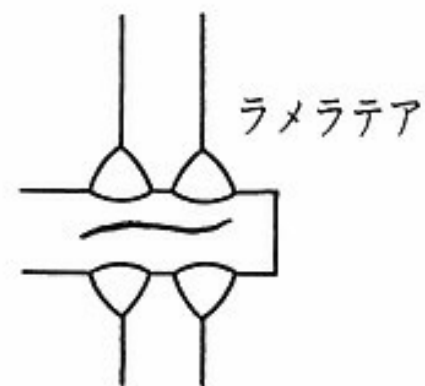
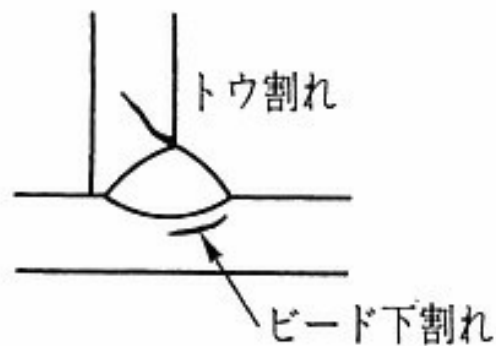
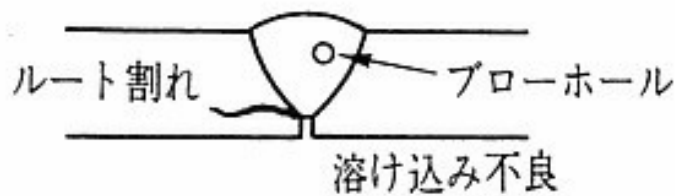
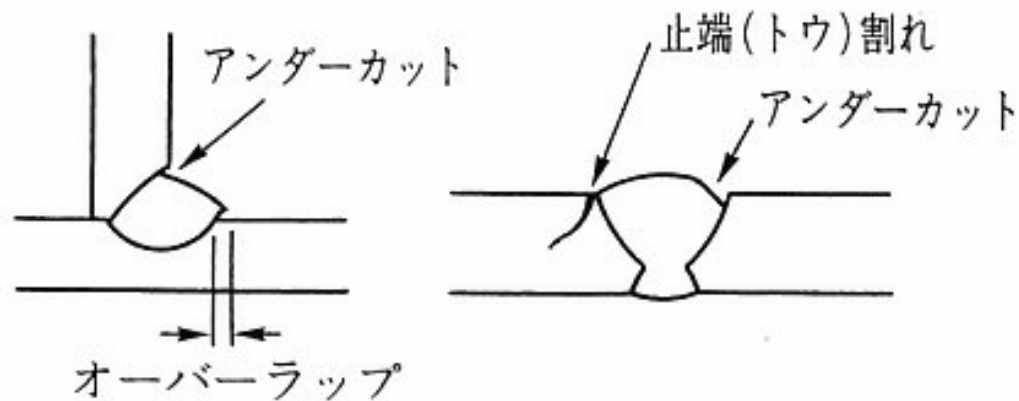
溶着金属



溶 融 部

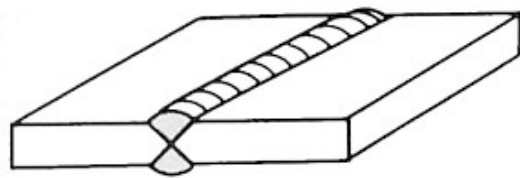
溶接金属

(a) アーク溶接部断面

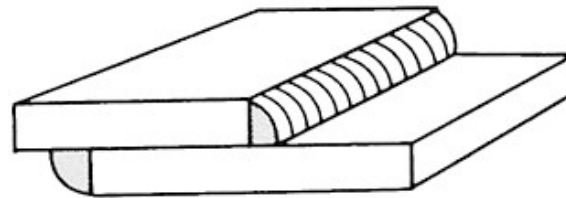


(b) 溶接欠陥

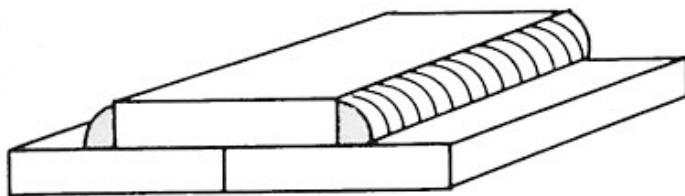
溶接継手



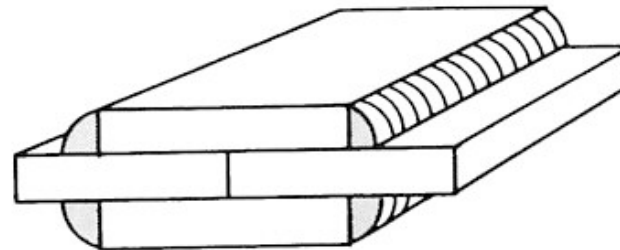
(a) つき合せ継手



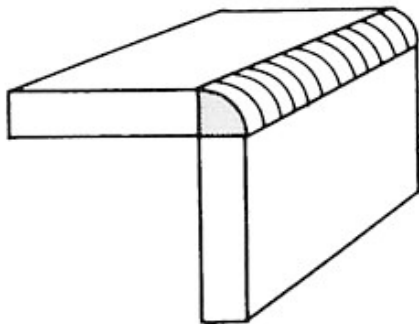
(b) 重ね継手



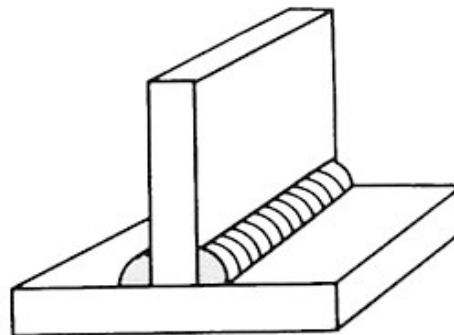
(c) 片側当て金継手



(d) 両側当て金継手



(e) かど継手



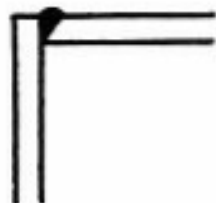
(f) T継手

溶接継手

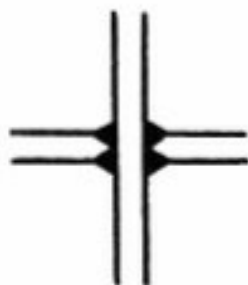
グループ溶接



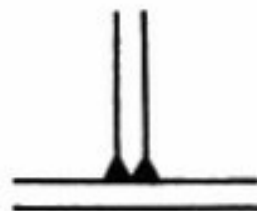
(突合せ継手)



(角継手)

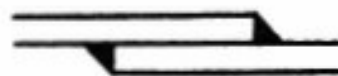


(十字継手)

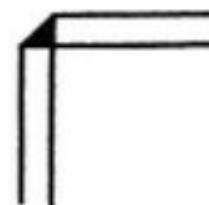


(T継手)

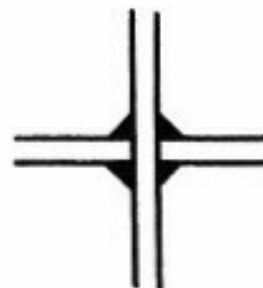
すみ肉溶接



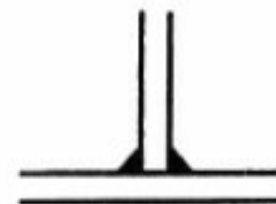
(重ね継手)



(角継手)



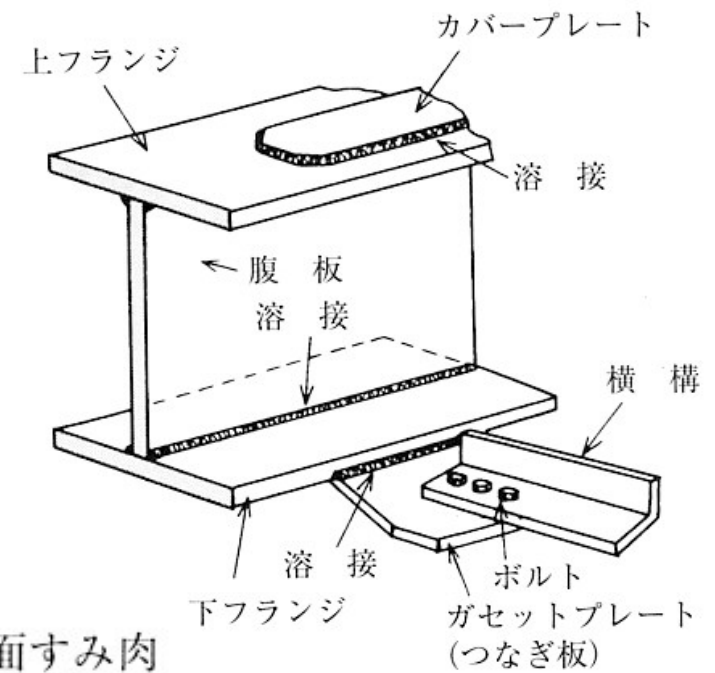
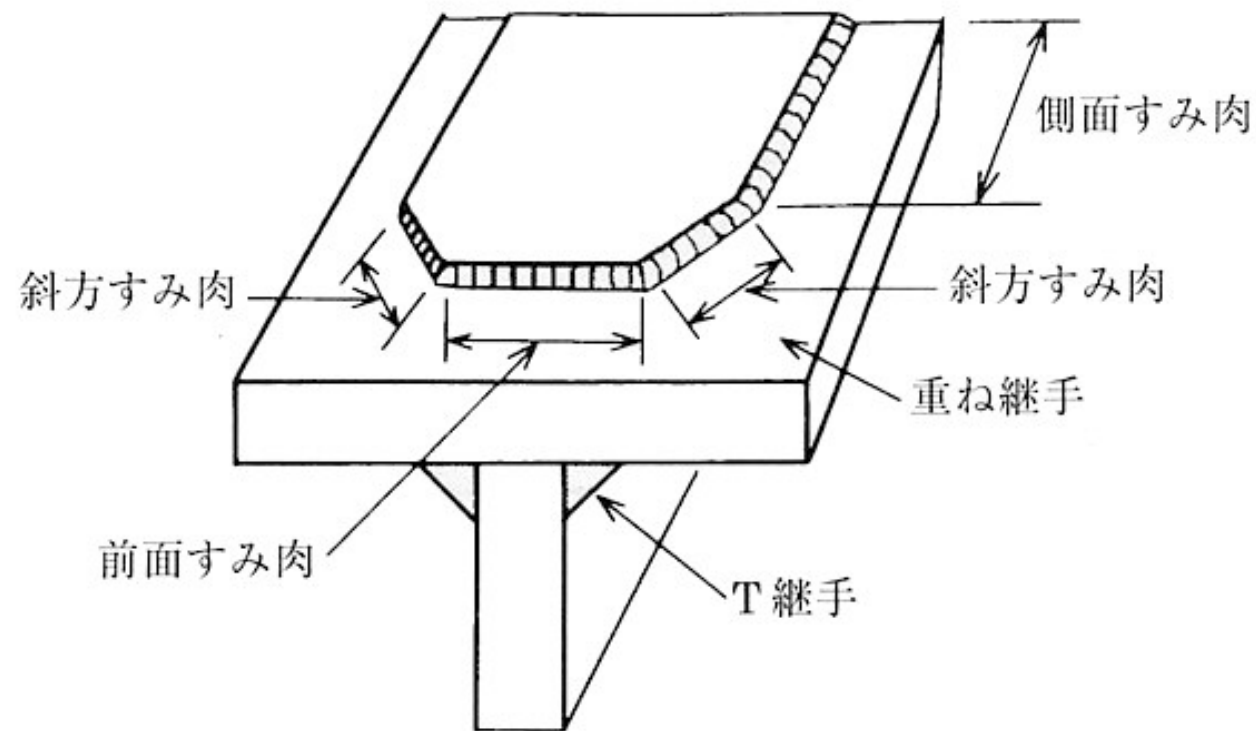
(十字継手)



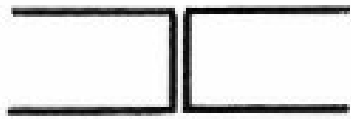
(T継手)

すみ肉溶接

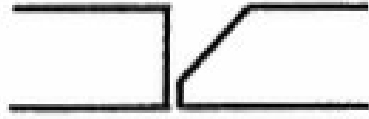
●プレートガーダー



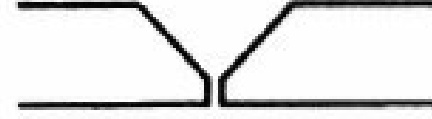
開先形状



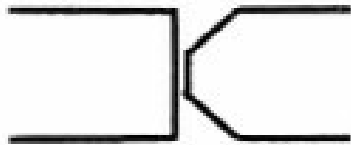
I 形



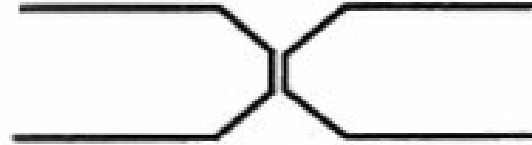
ㄥ 形



V 形

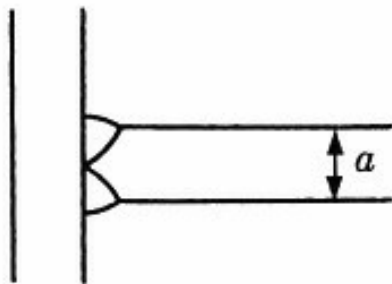
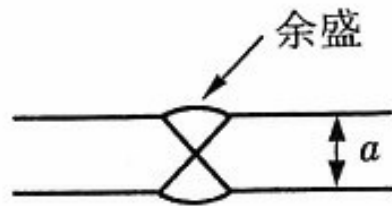
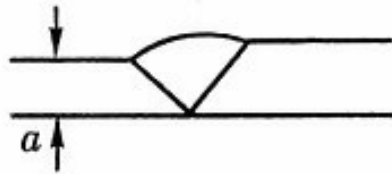


K 形

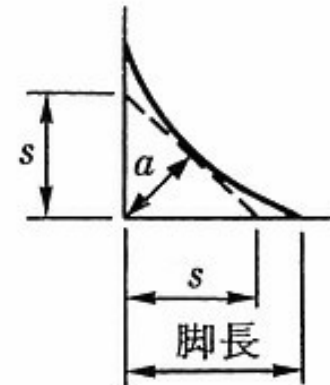
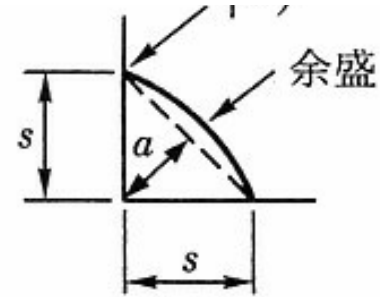


X 形

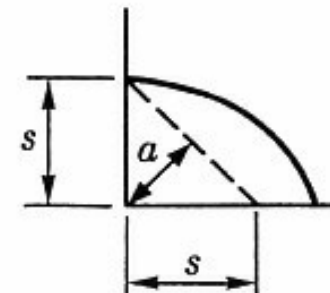
のど厚



(a) グループ溶接

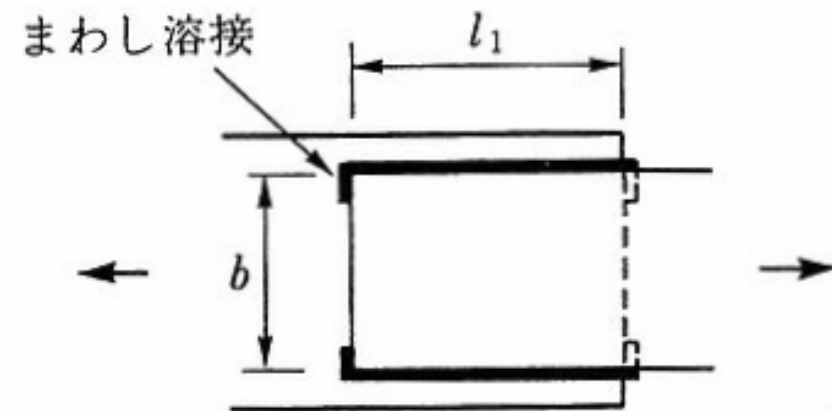
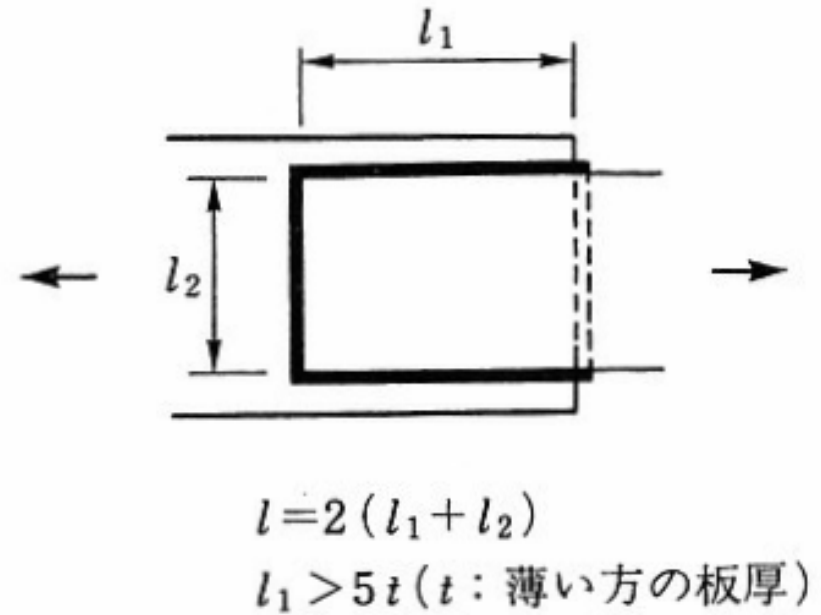
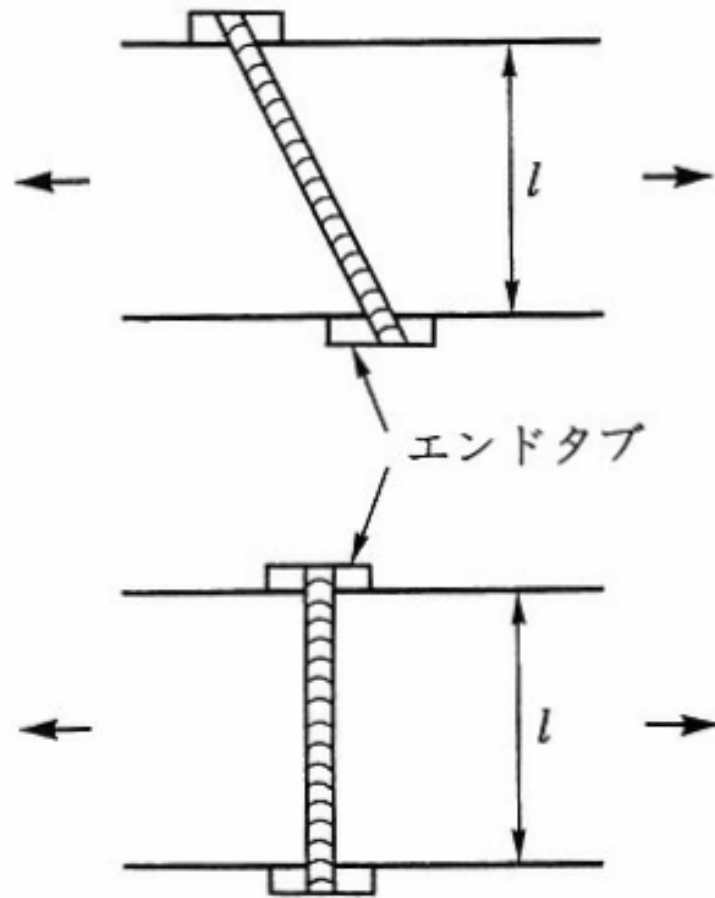


s : サイズ
 a : 継手ルートを頂点とする二等辺三角形でルートから底辺までの距離

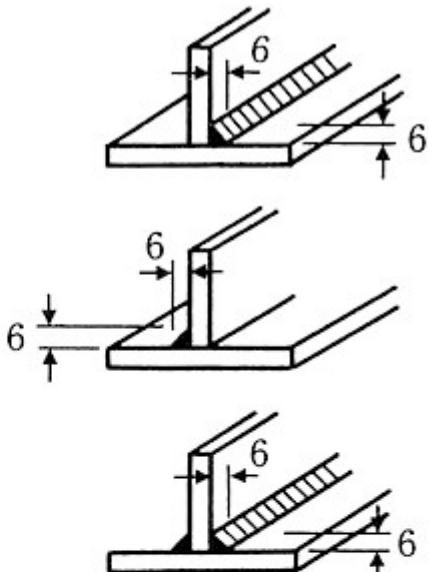
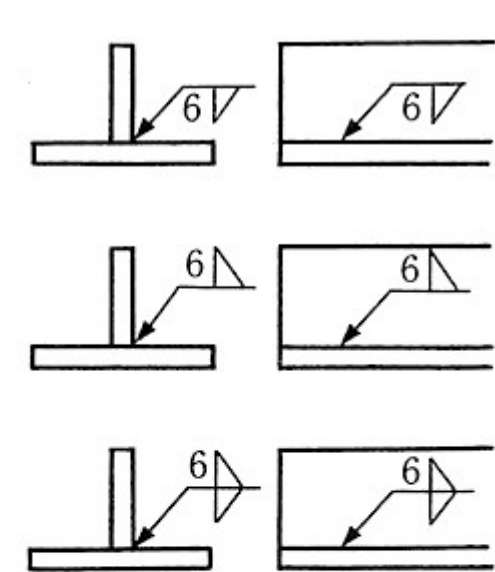
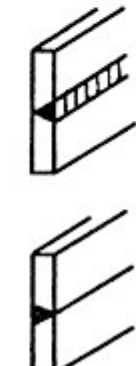
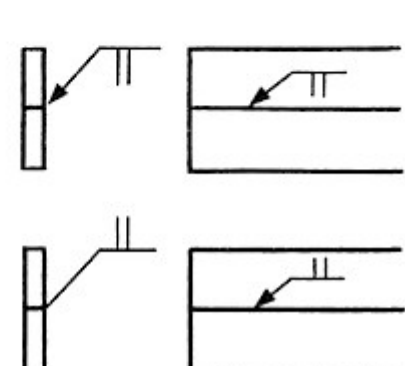


(b) すみ肉溶接

溶接の有効長



溶接記号(一部)

すみ肉溶接		
I 形グループ 溶接		

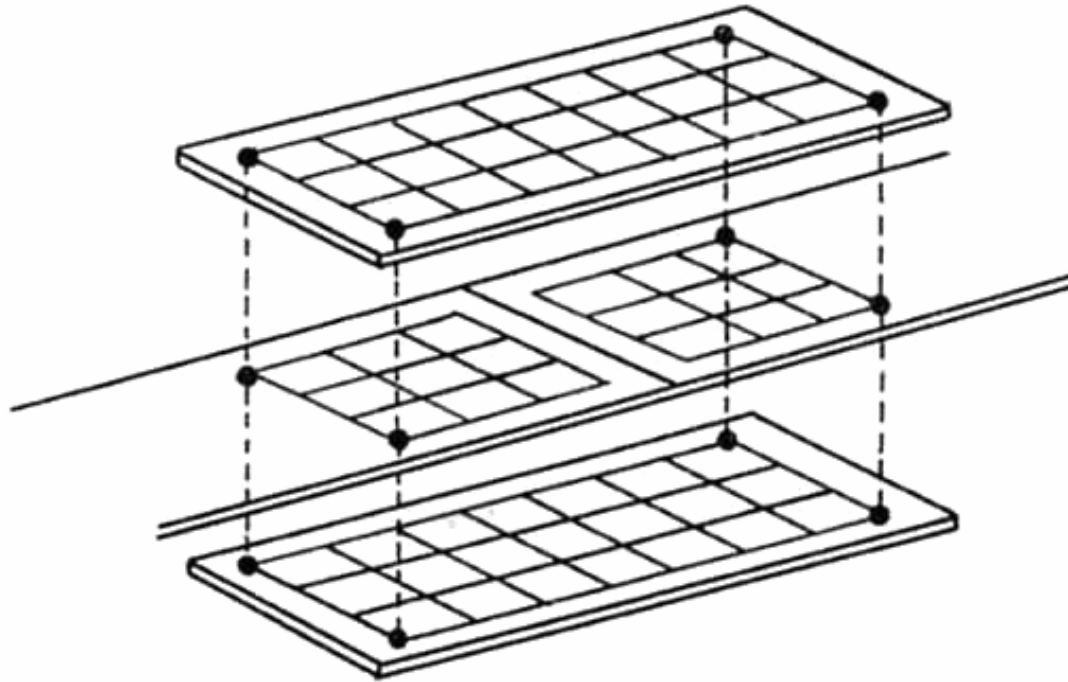
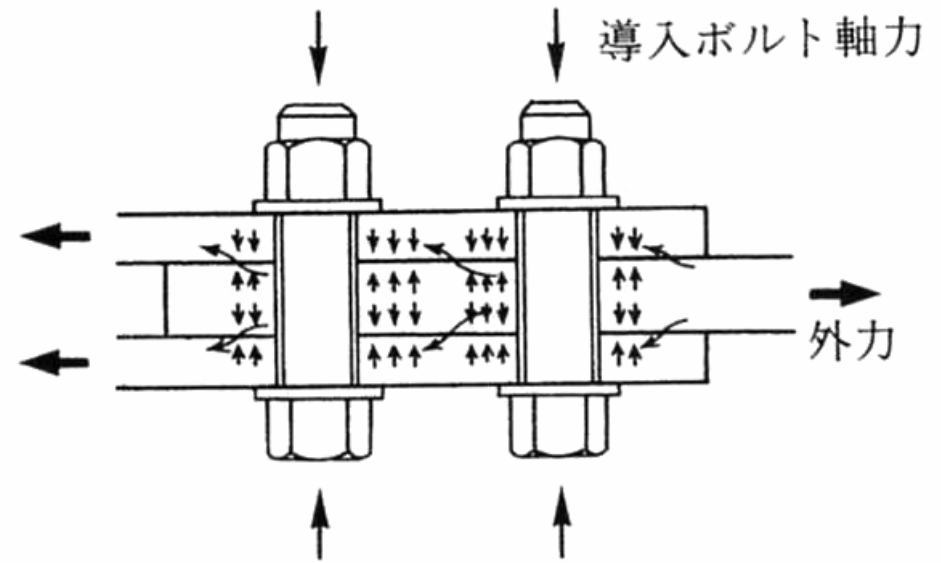
ボルト接合



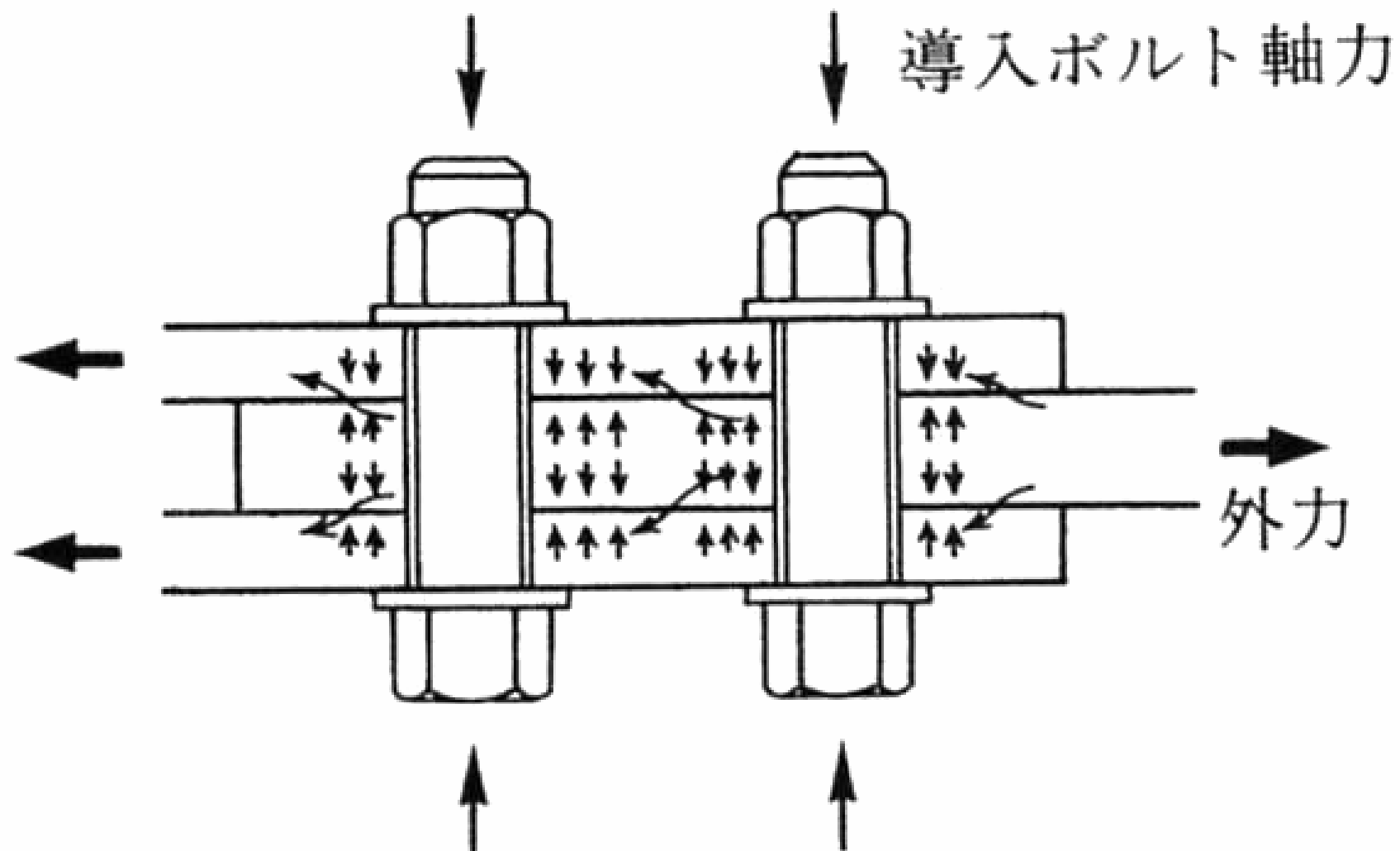
ボルト接合(桁内)



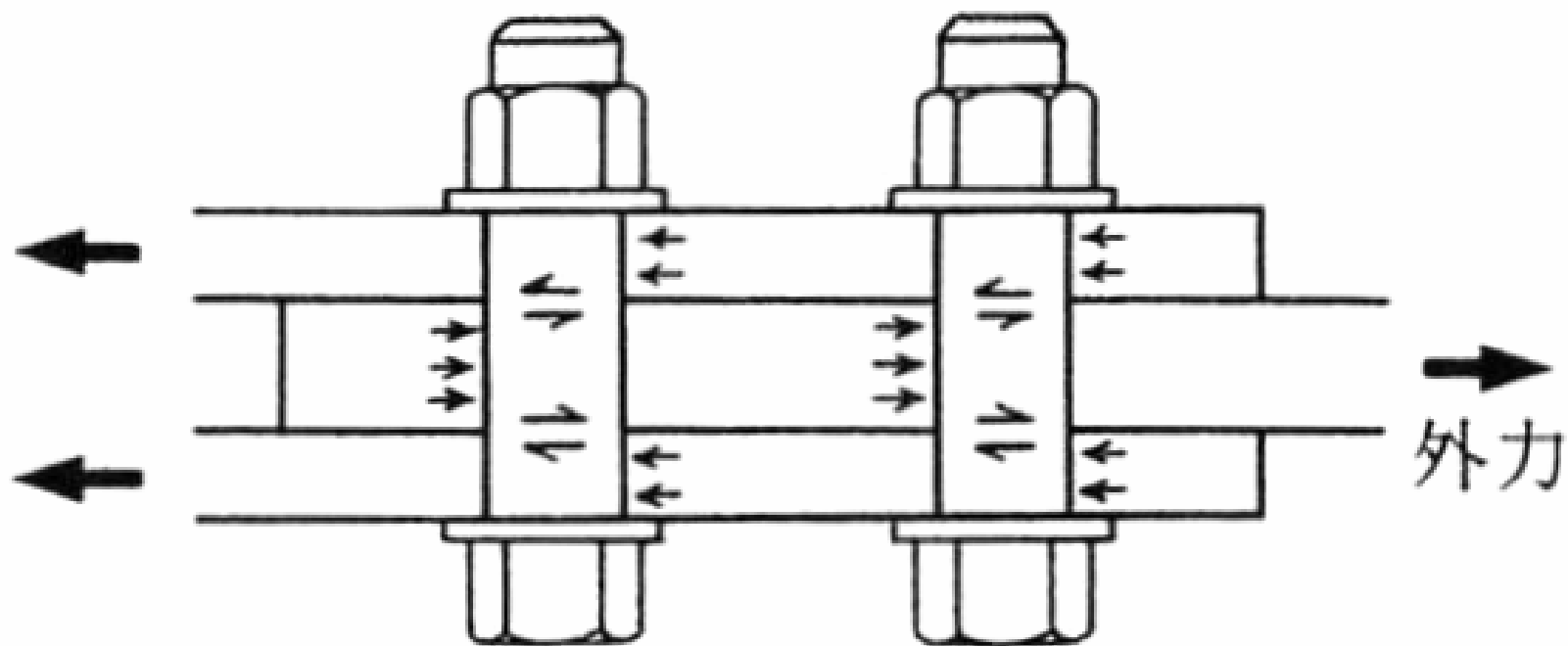
ボルト接合



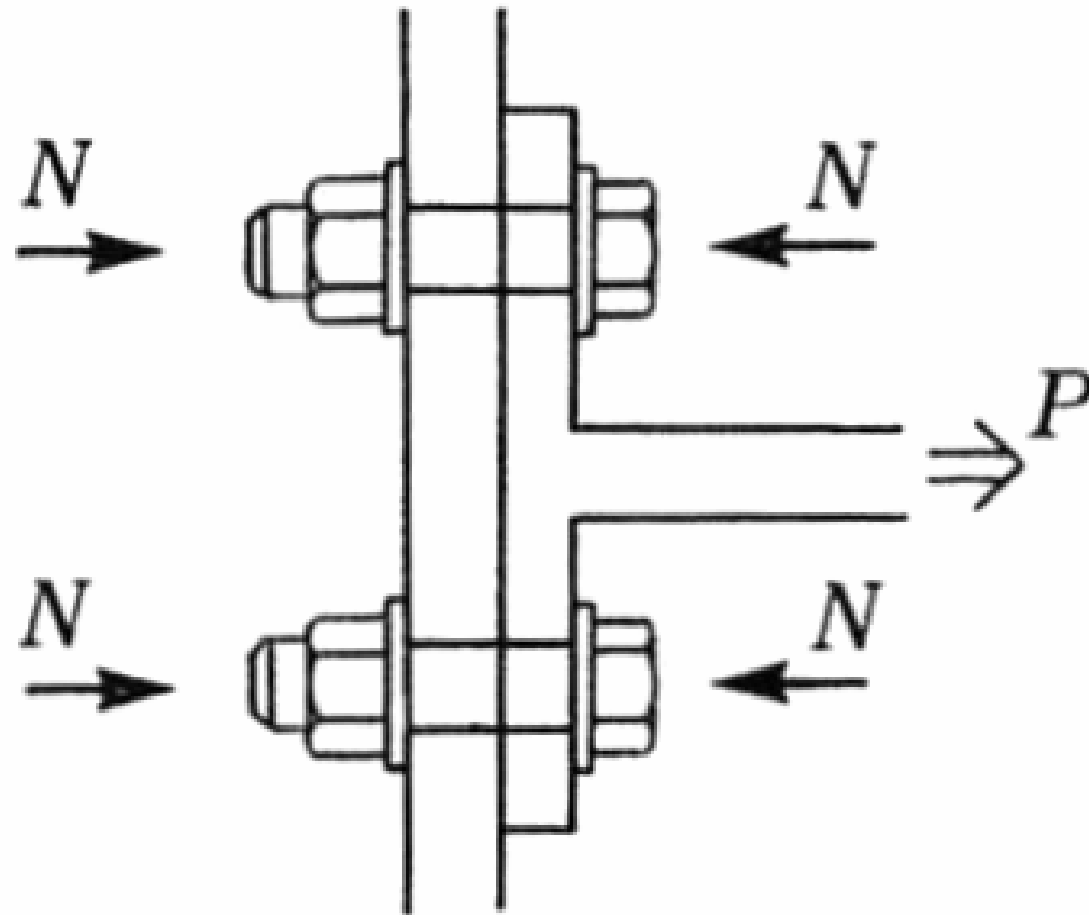
摩擦接合



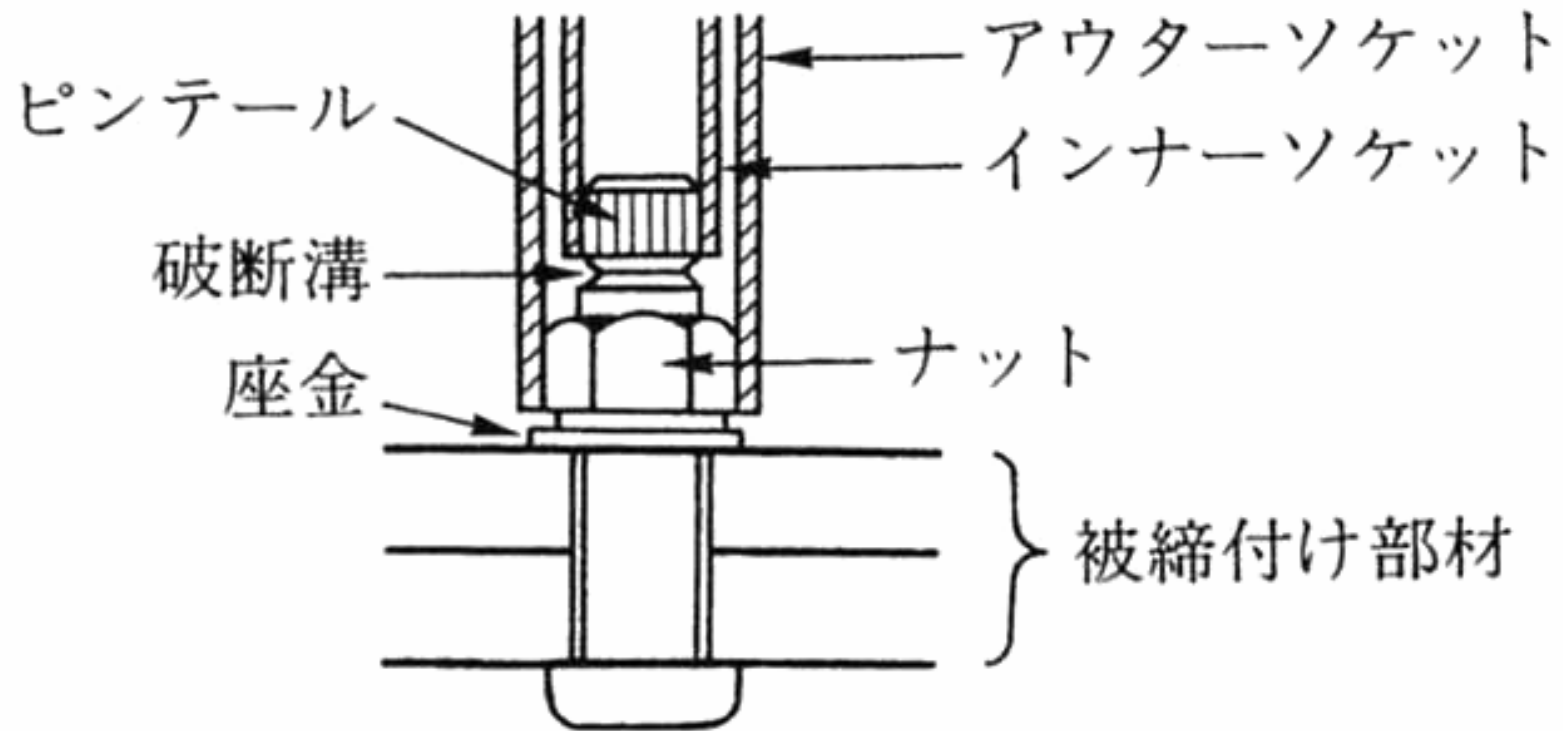
支压接合



引張接合

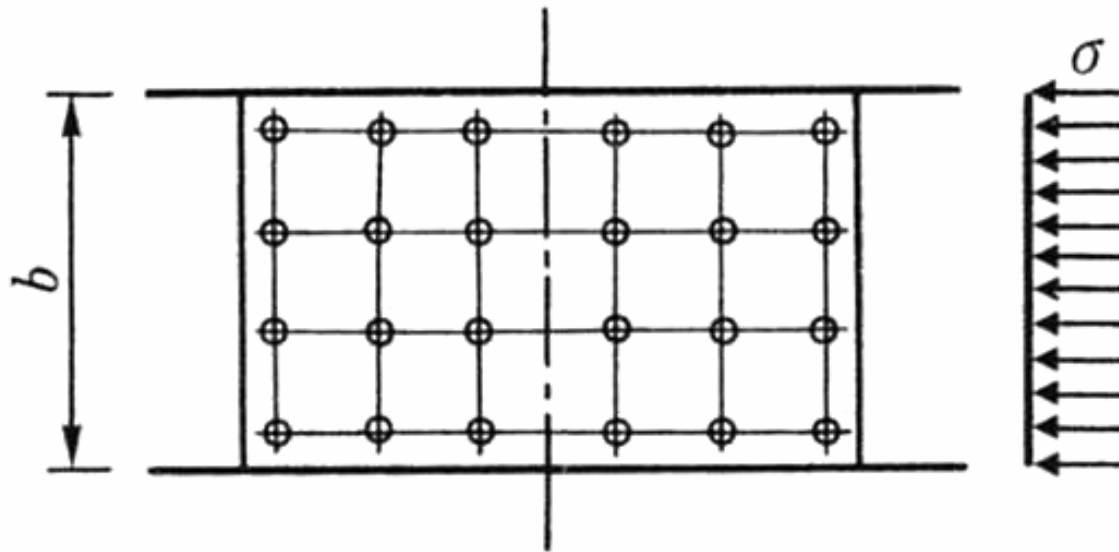


トルシア形高力ボルト



垂直応力分布が均等な場合

- 軸力が作用

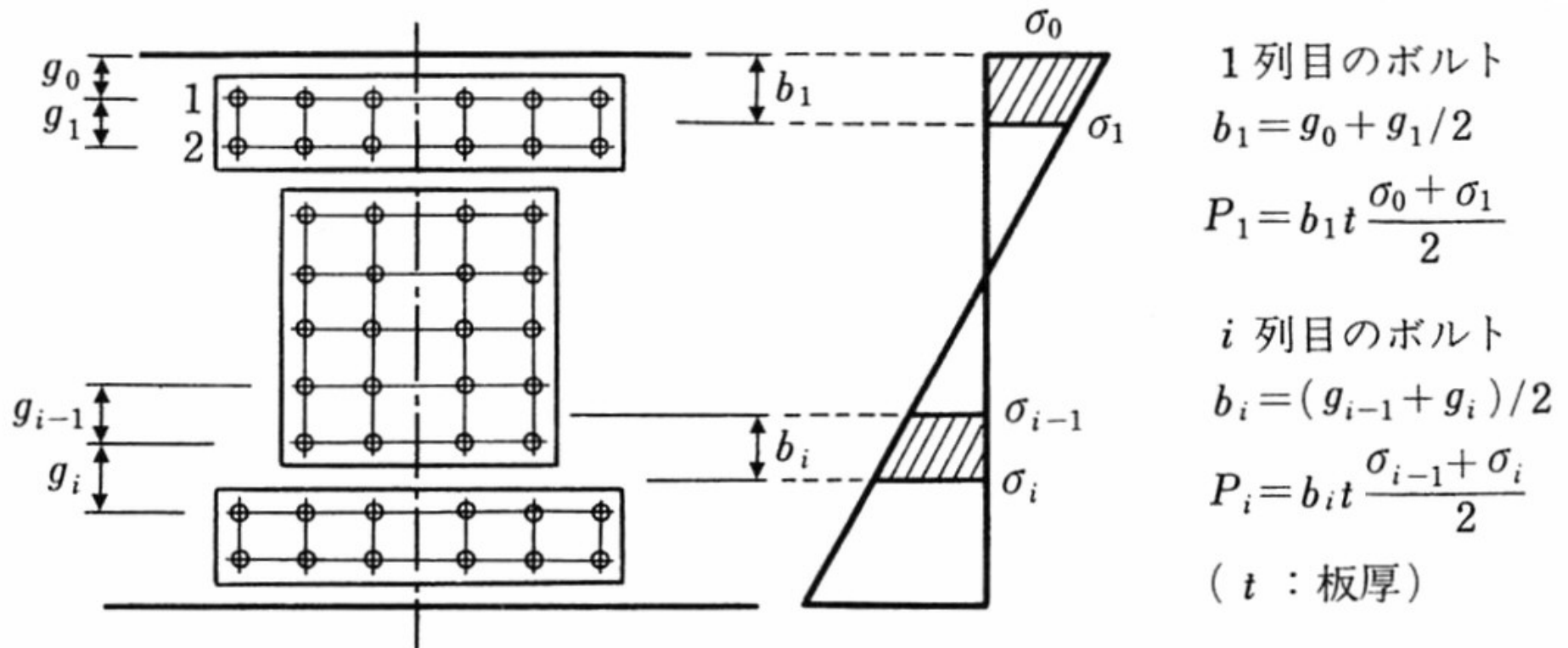


$$P = \sigma b t$$

(t : 板厚)

垂直応力分布が変化する場合

- 曲げモーメントが作用



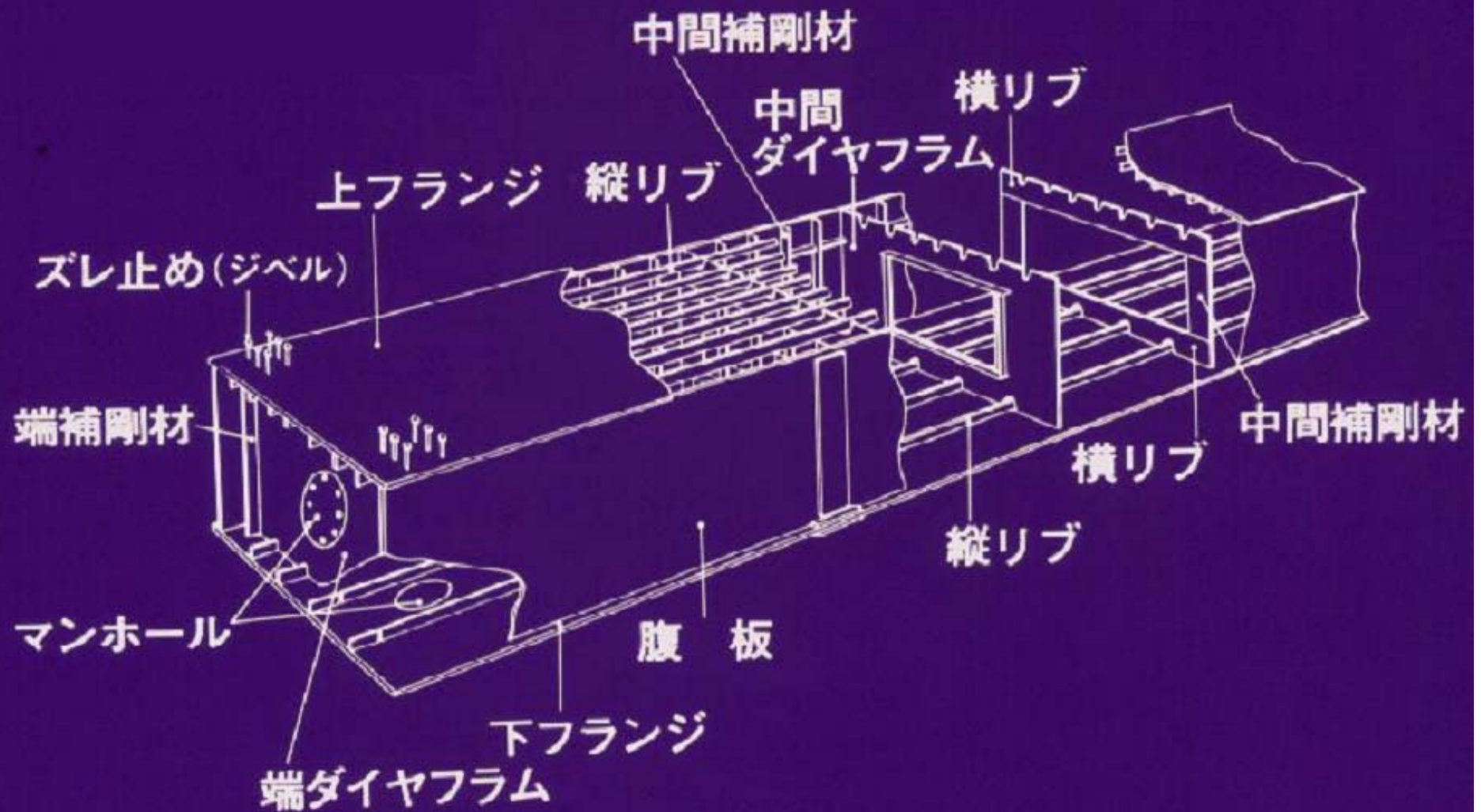
箱桁橋



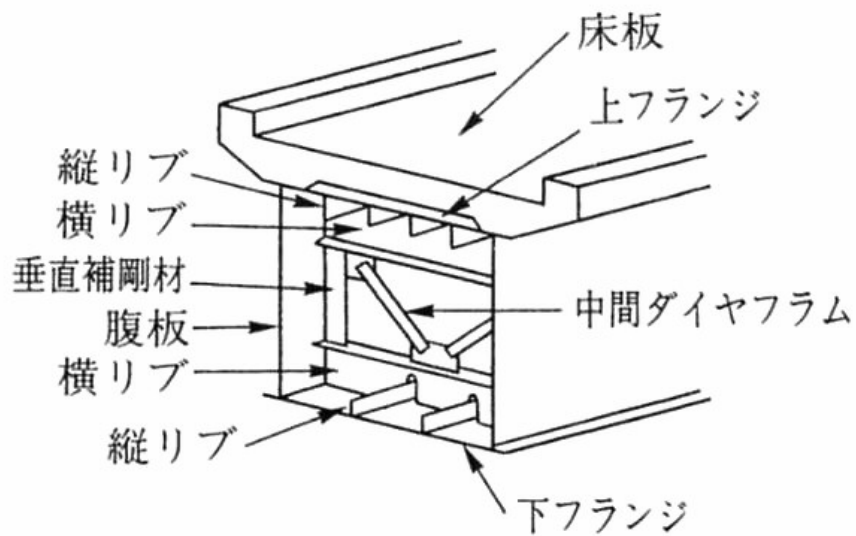
箱桁橋



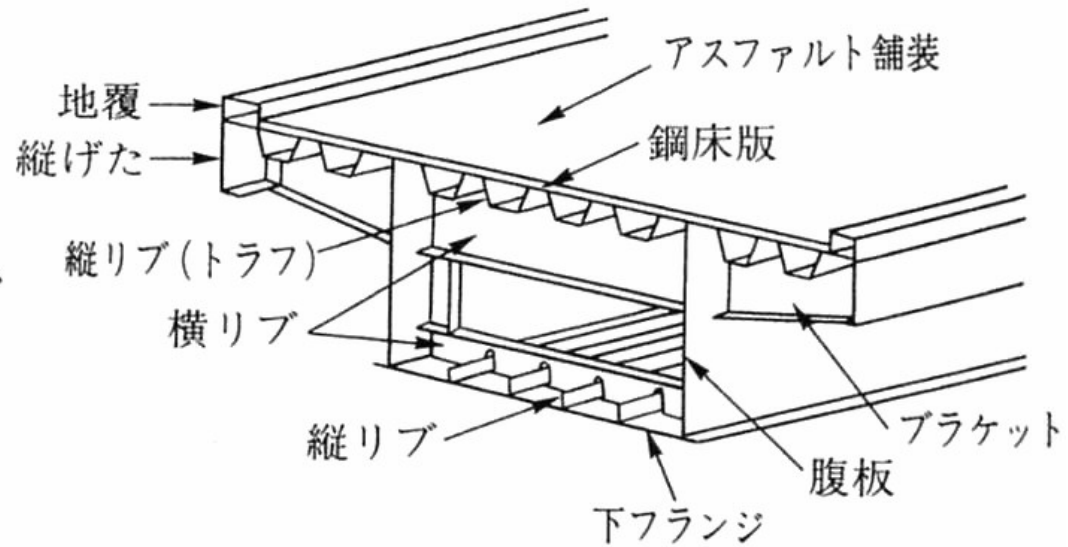
箱桁構造図



箱桁橋

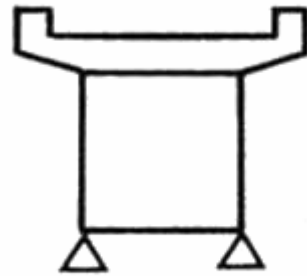


(a) 鉄筋コンクリート床版をもつ箱げた

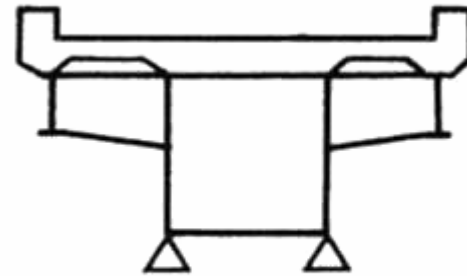


(b) 鋼床版箱げた

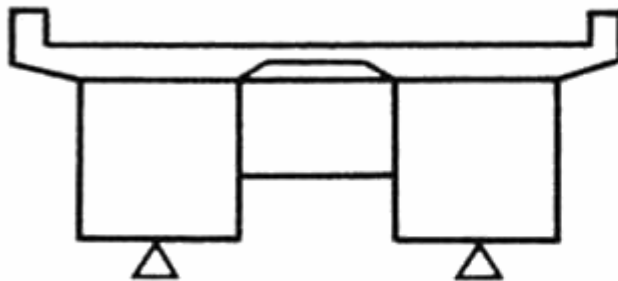
幅員に応じた箱桁の配置



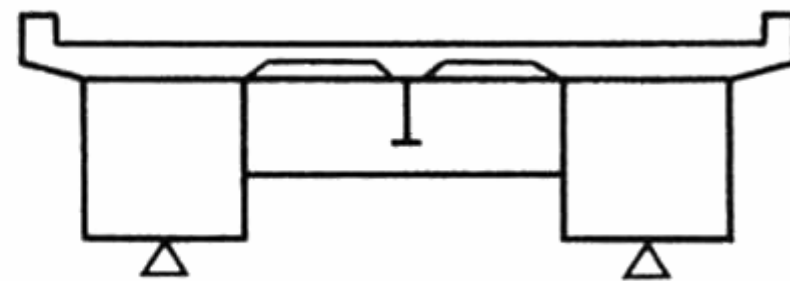
(a)



(b)

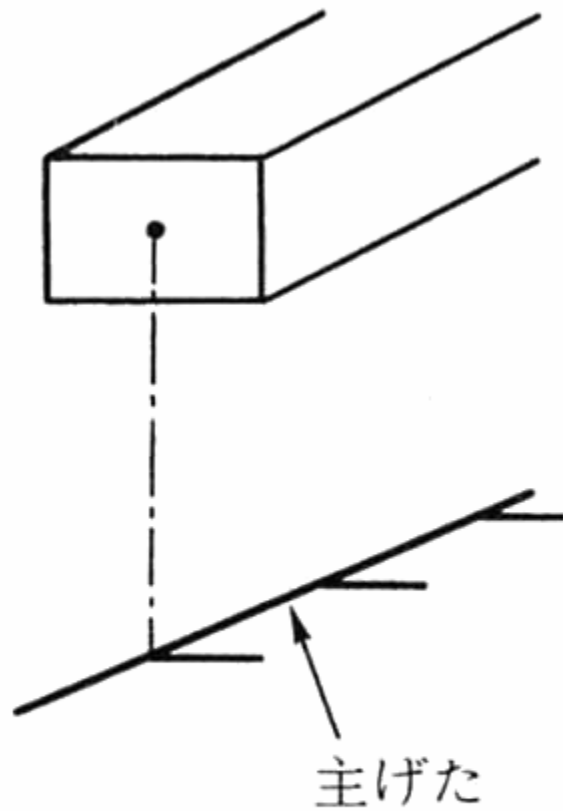


(c)

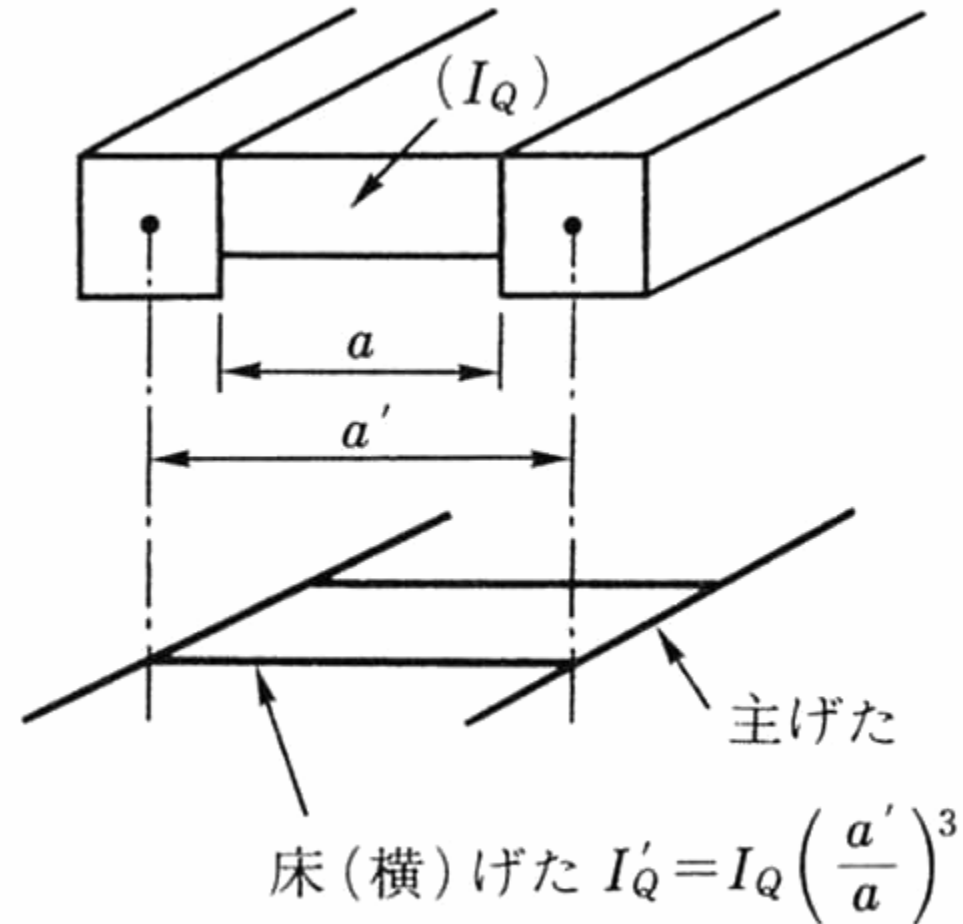


(d)

断面力計算モデル1

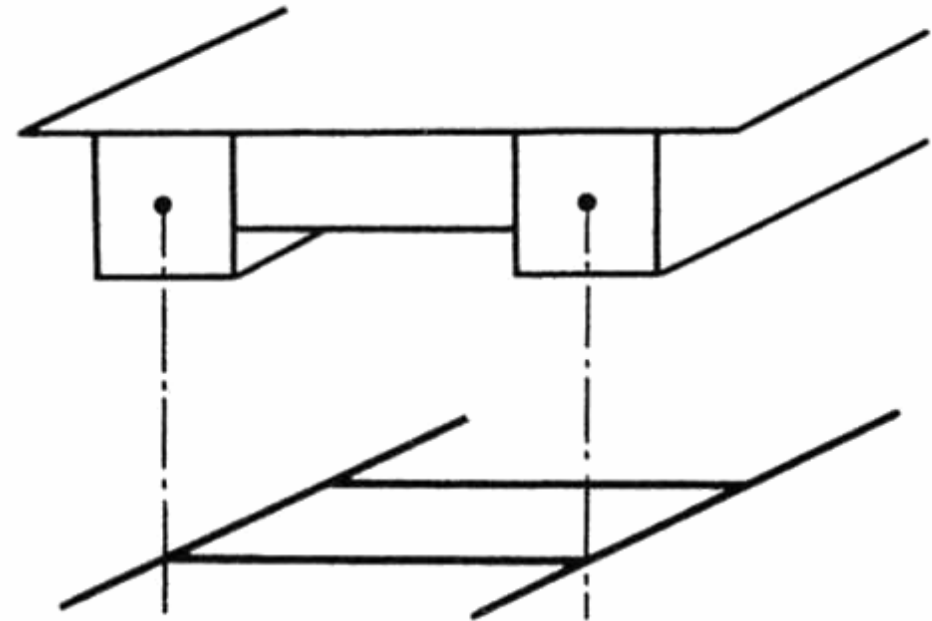
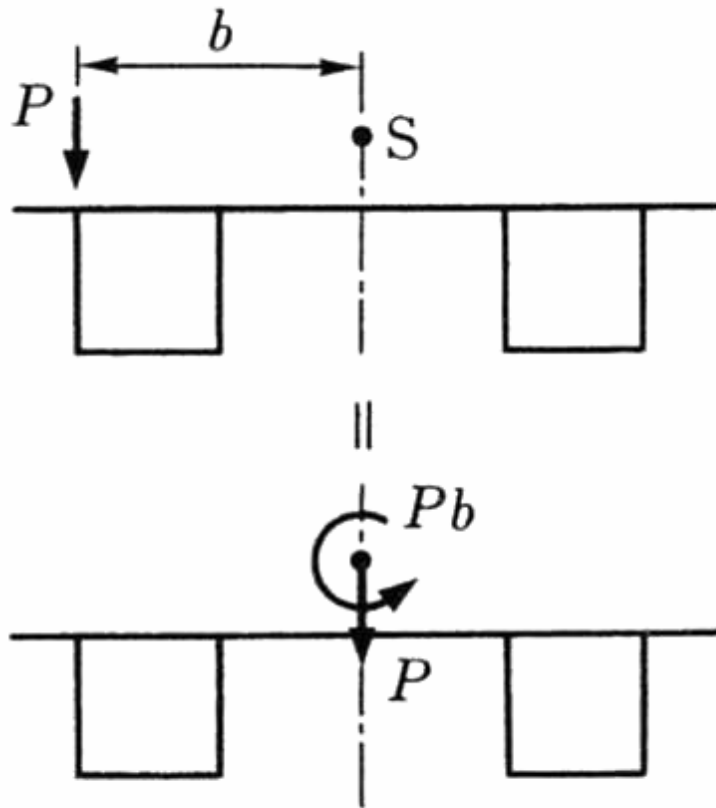


(a) 単一箱げた



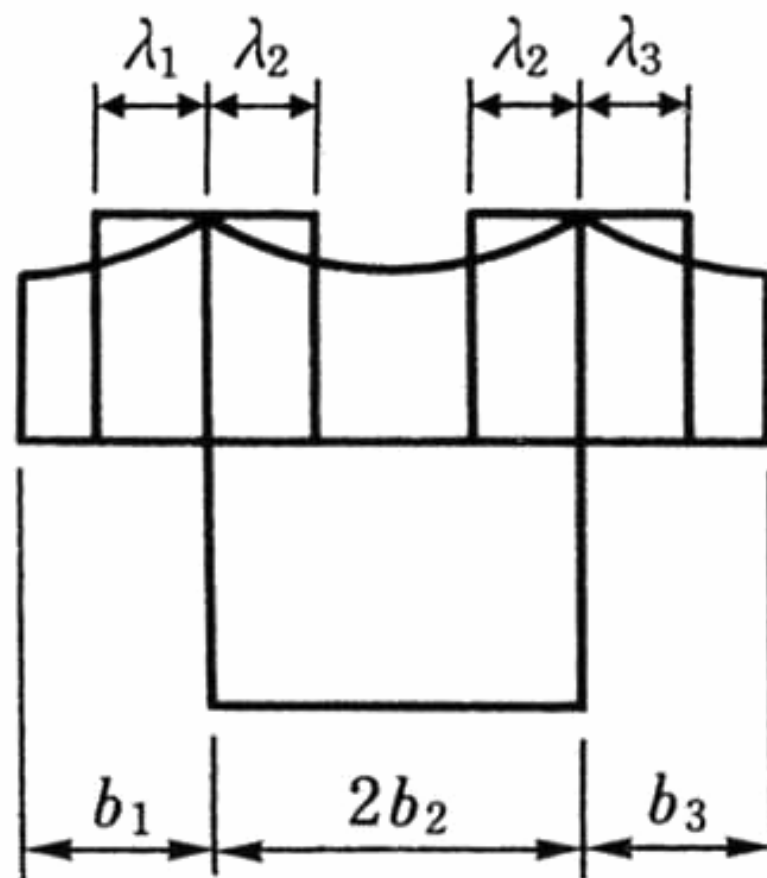
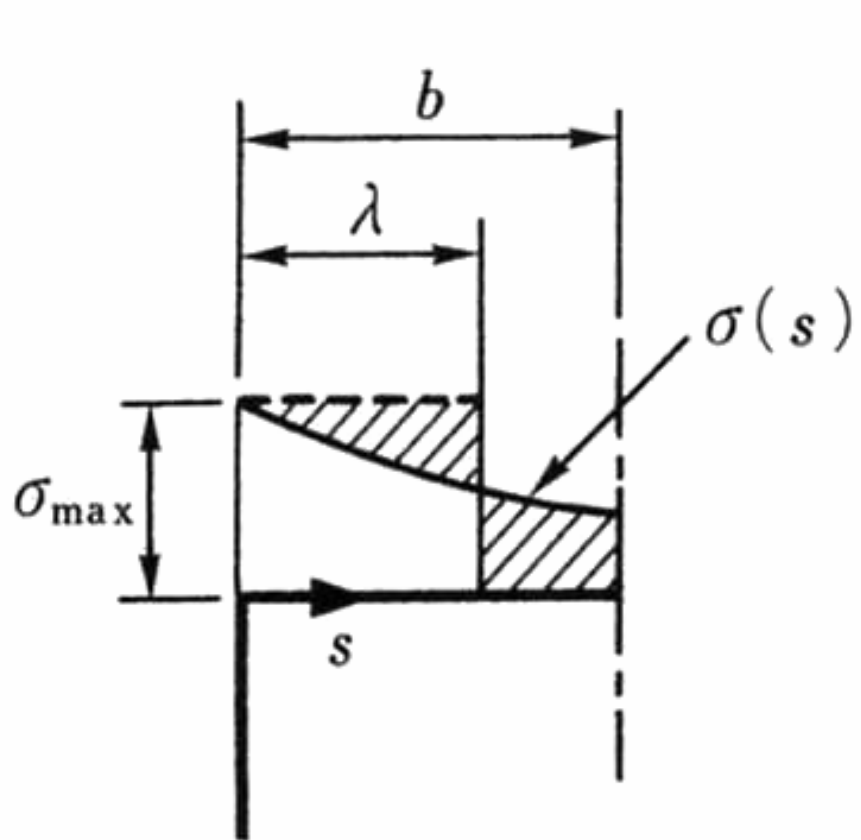
(b) 2(並列)箱げた

断面力計算モデル2

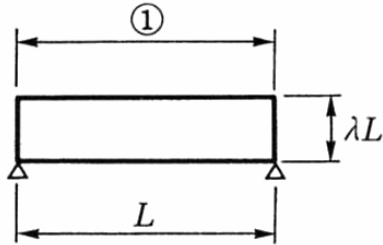
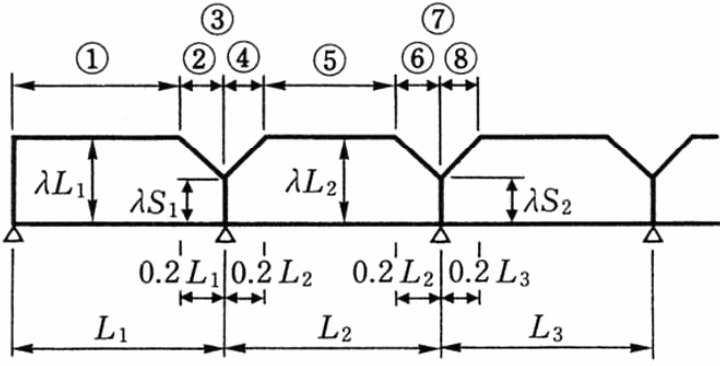
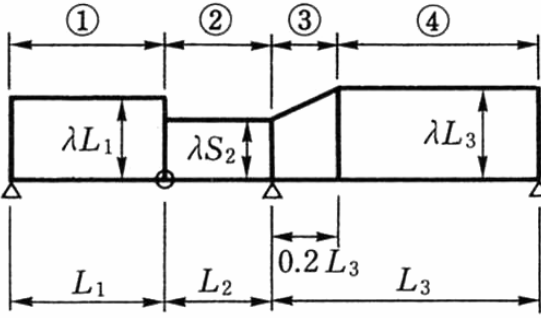


(c) 床版付き並列箱げた

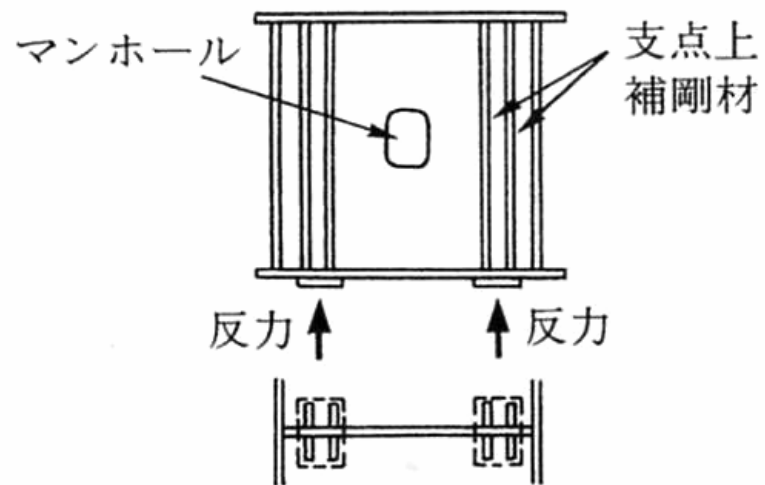
有效幅



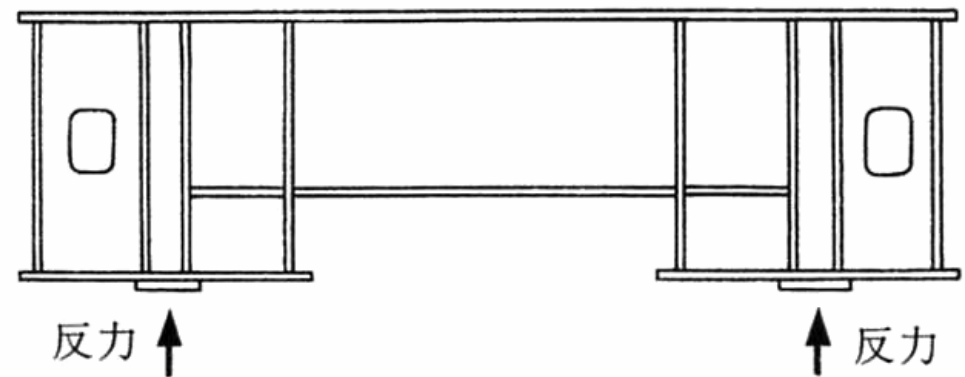
フランジの片側有効幅

	区間 (箇所)	片 側 有 効 幅			摘 要
		記号	適用式	等価支間長 L_U	
単純 げた	①	λL	(9.7)	L	
連続 げた	①	λL_1	(9.7)	$0.8 L_1$	
	⑤	λL_2		$0.6 L_2$	
	③	λS_1	(9.8)	$0.2(L_1 + L_2)$	
	⑦	λS_2		$0.2(L_2 + L_3)$	
	②④ ⑥⑧	両端の有効幅を用いて、 直線変化させる。			
ゲル バー げた	①	λL_1	(9.7)	L_1	
	④	λL_3		$0.8 L_3$	
	②	λS_2	(9.8)	$2 L_2$	
	③	両端の有効幅を用いて、 直線変化させる。			

支点上ダイヤフラムの例

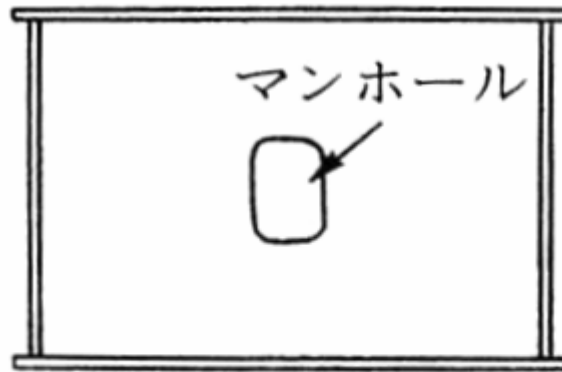


(a) 1 箱 2 沓タイプ

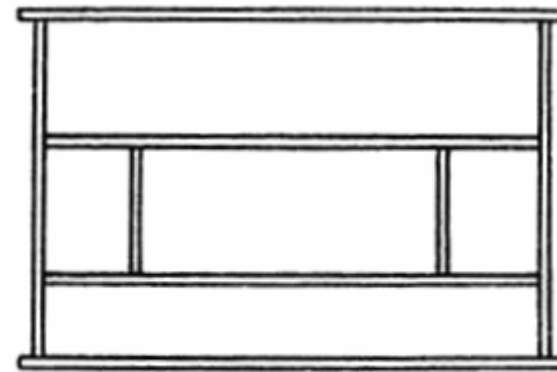


(b) 1 箱 1 沓タイプ

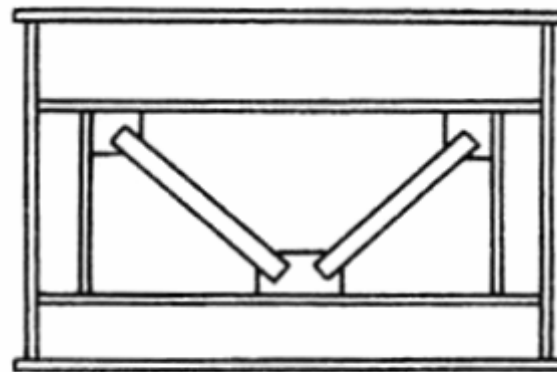
中間ダイヤフラム



(a) 充腹板形式



(b) ラーメン形式



(c) 対傾構形式

合成桁



(a) 重ねばり



ずれ止め

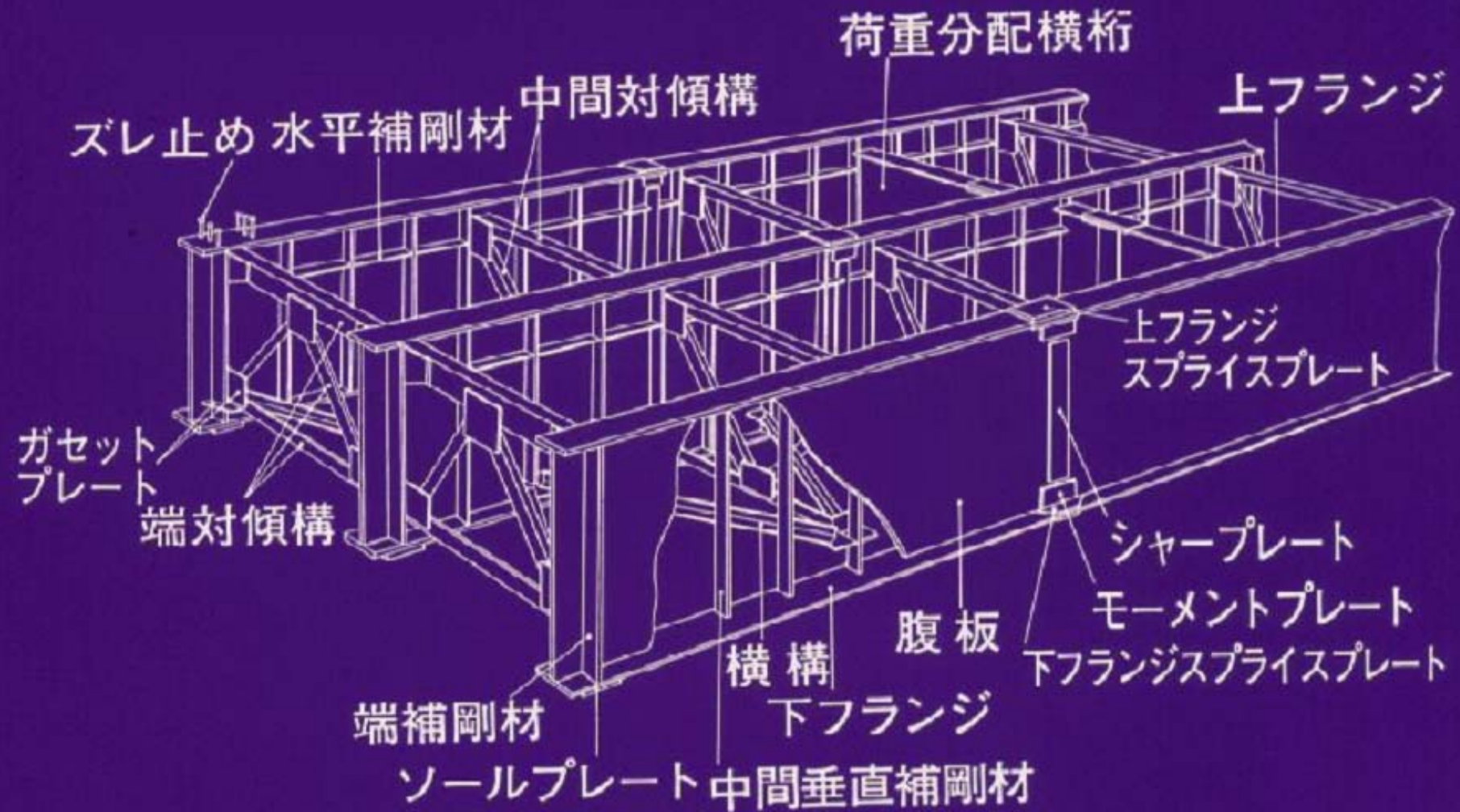


(b) 合成断面ばり

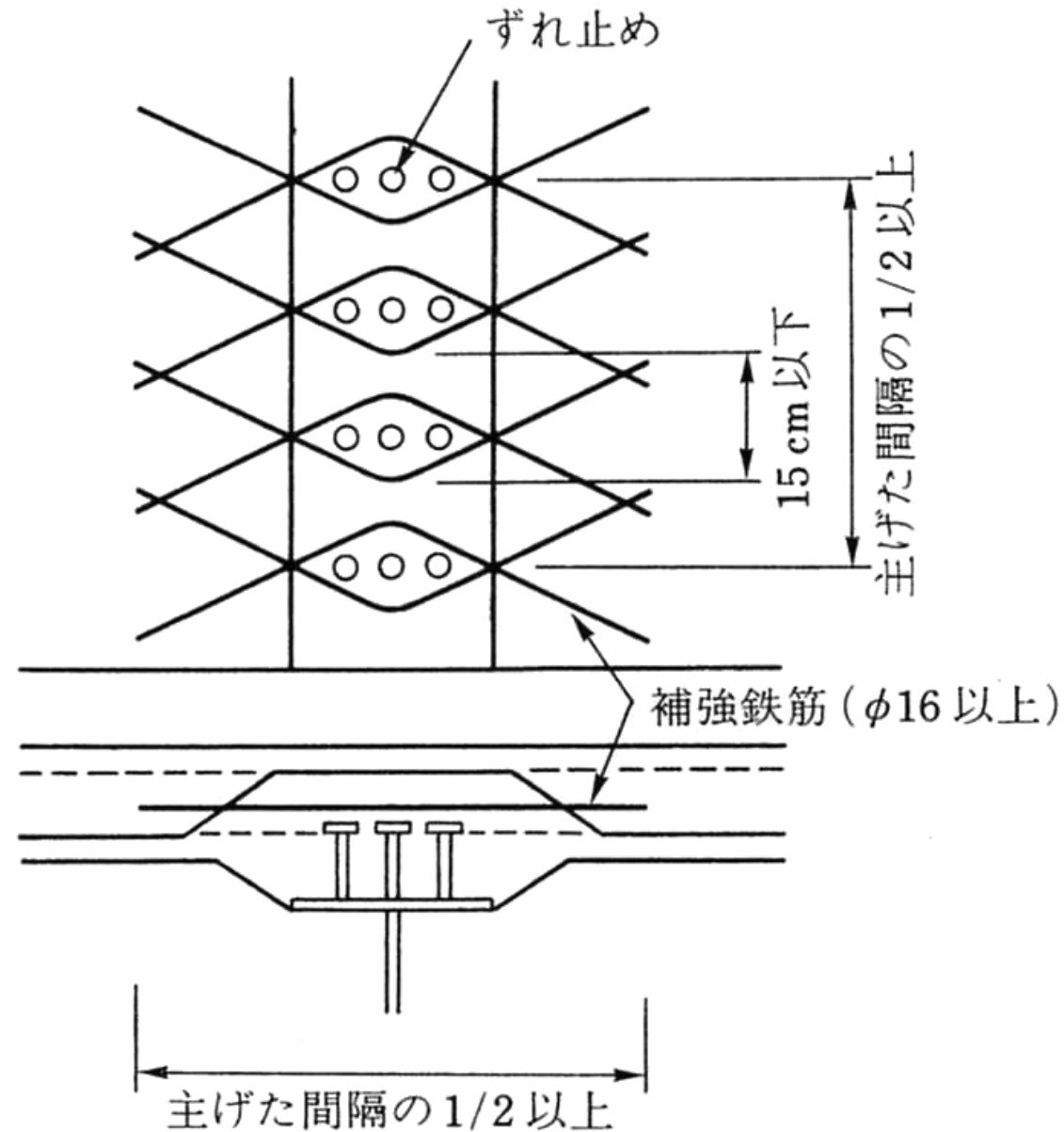
I桁橋



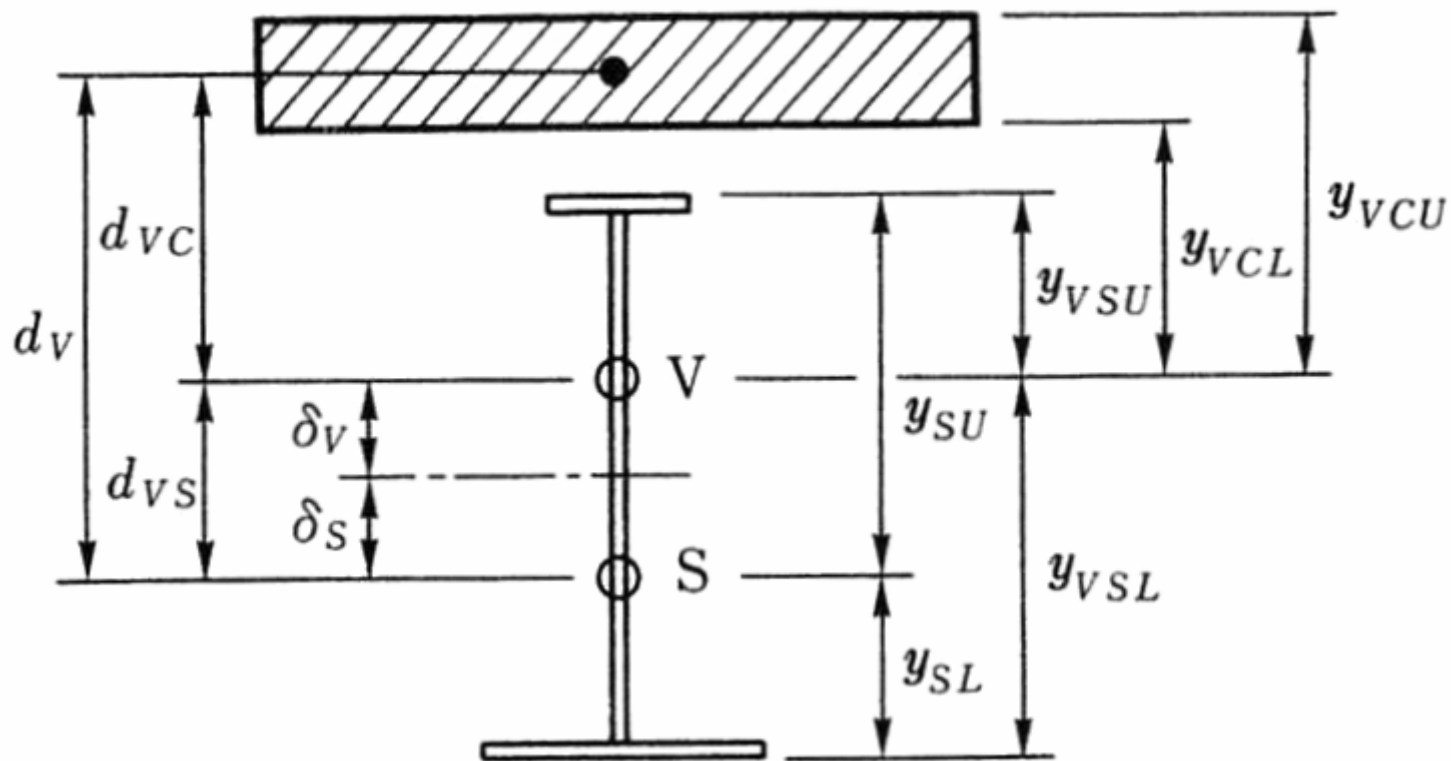
I桁構造図



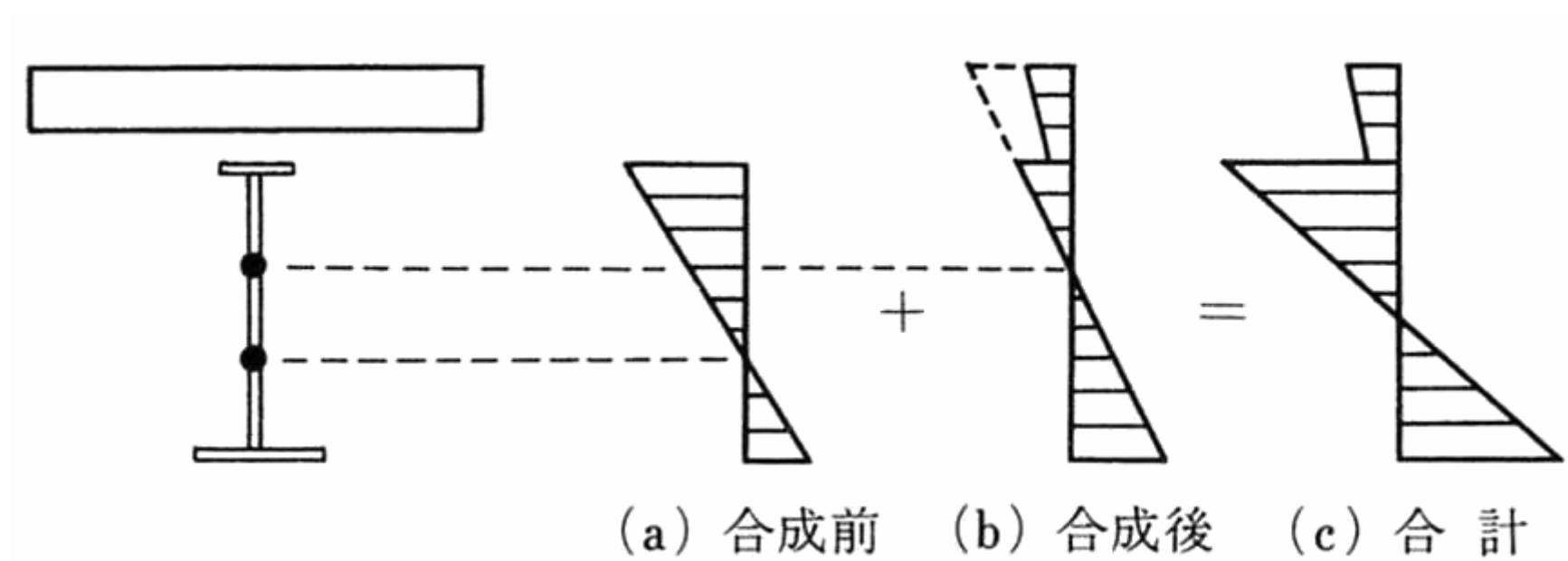
補強鉄筋の配置



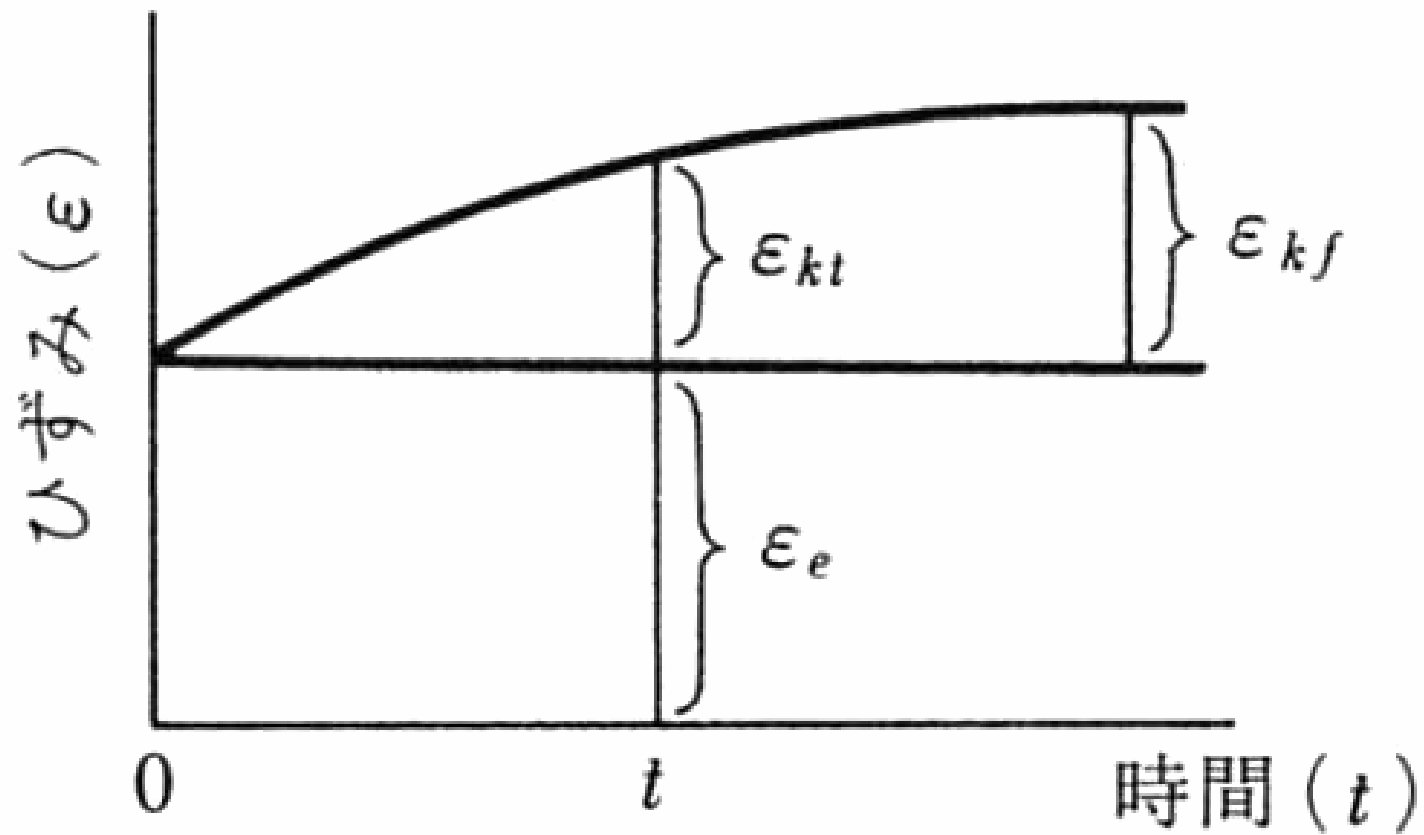
合成桁断面



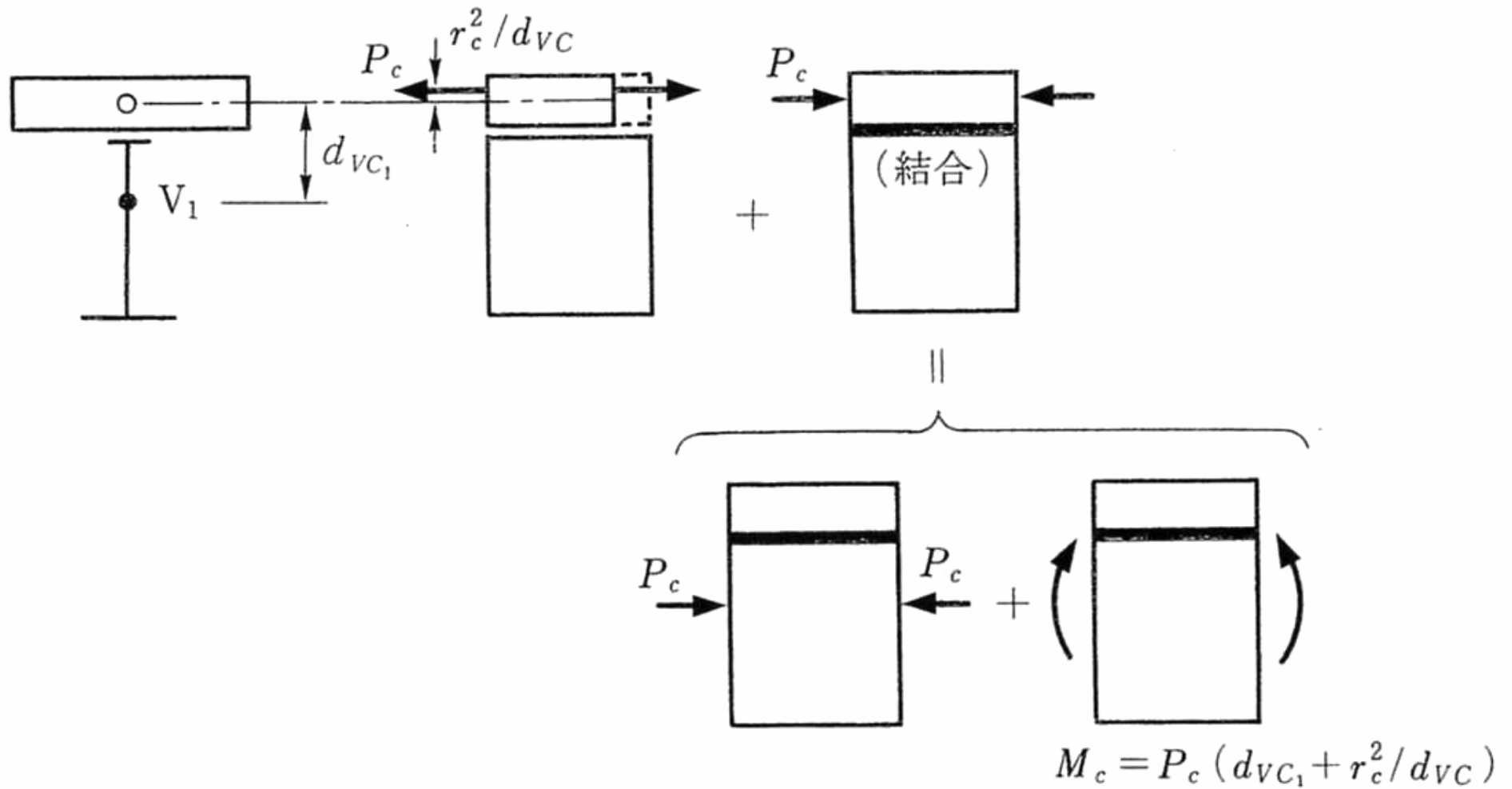
合成桁の応力



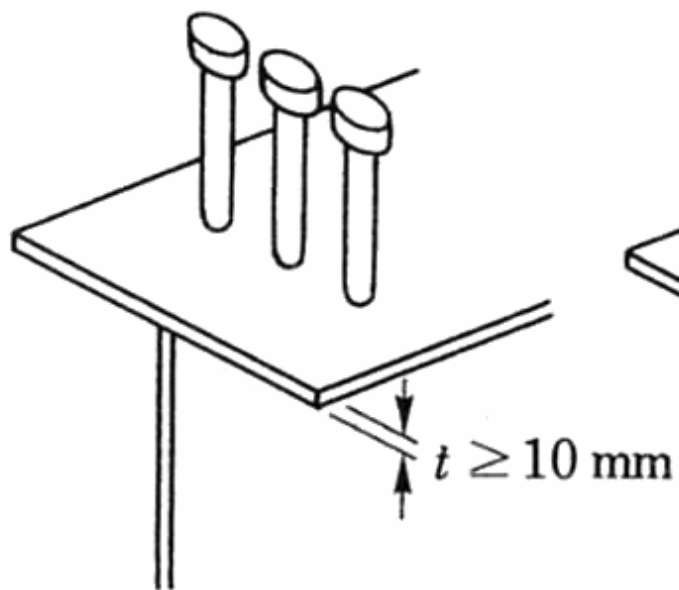
クリープひずみ



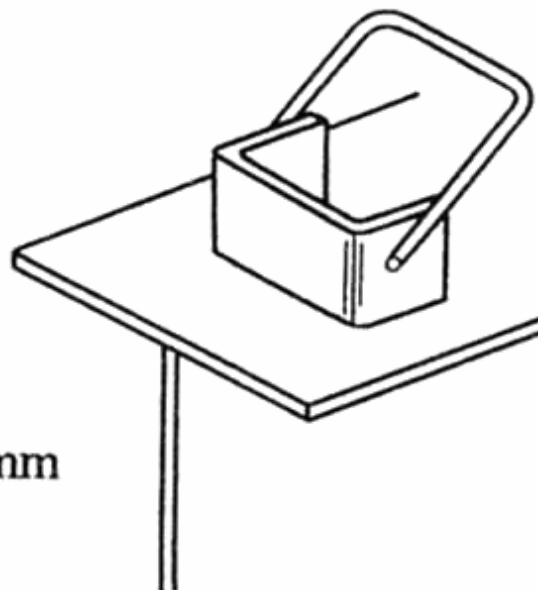
クリープによる応力の計算法



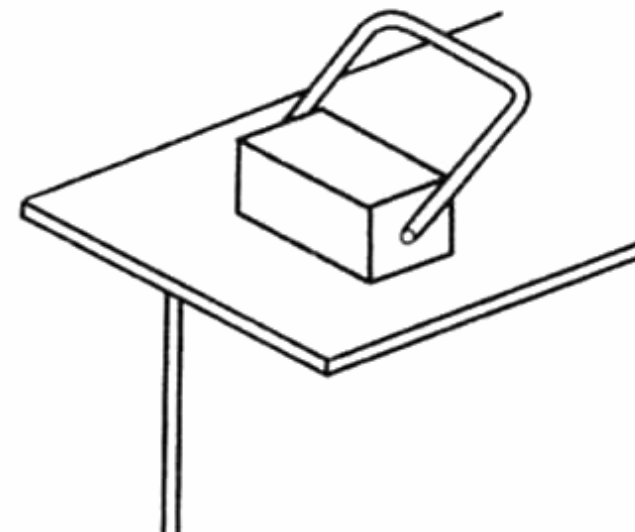
ずれ止めの種類



(a) スタッド

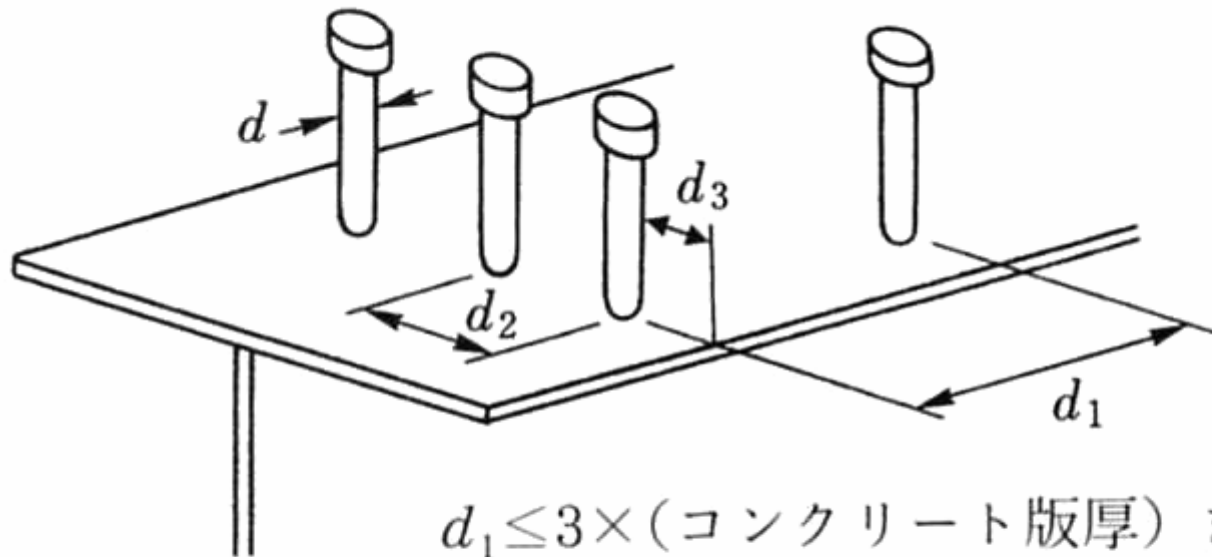


(b) 馬蹄形の板
と輪形鉄筋



(c) 鋼ブロック
と輪形鉄筋

スタッドの配置



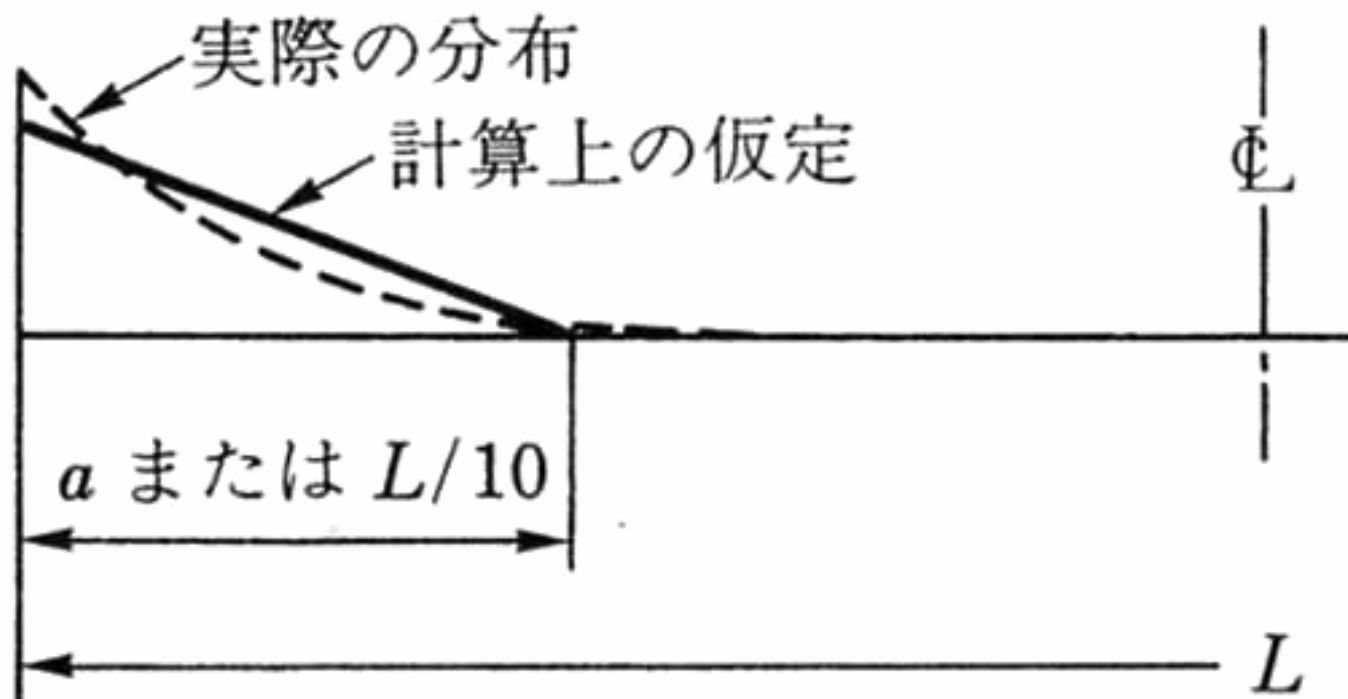
$d_1 \leq 3 \times (\text{コンクリート版厚})$ または 600 (mm)

$d_1 \geq 5d$ または 100 (mm)

$d_2 \geq d + 30$ (mm)

$d_3 \geq 25$ (mm)

せん断力の分布



a : 主げた間隔

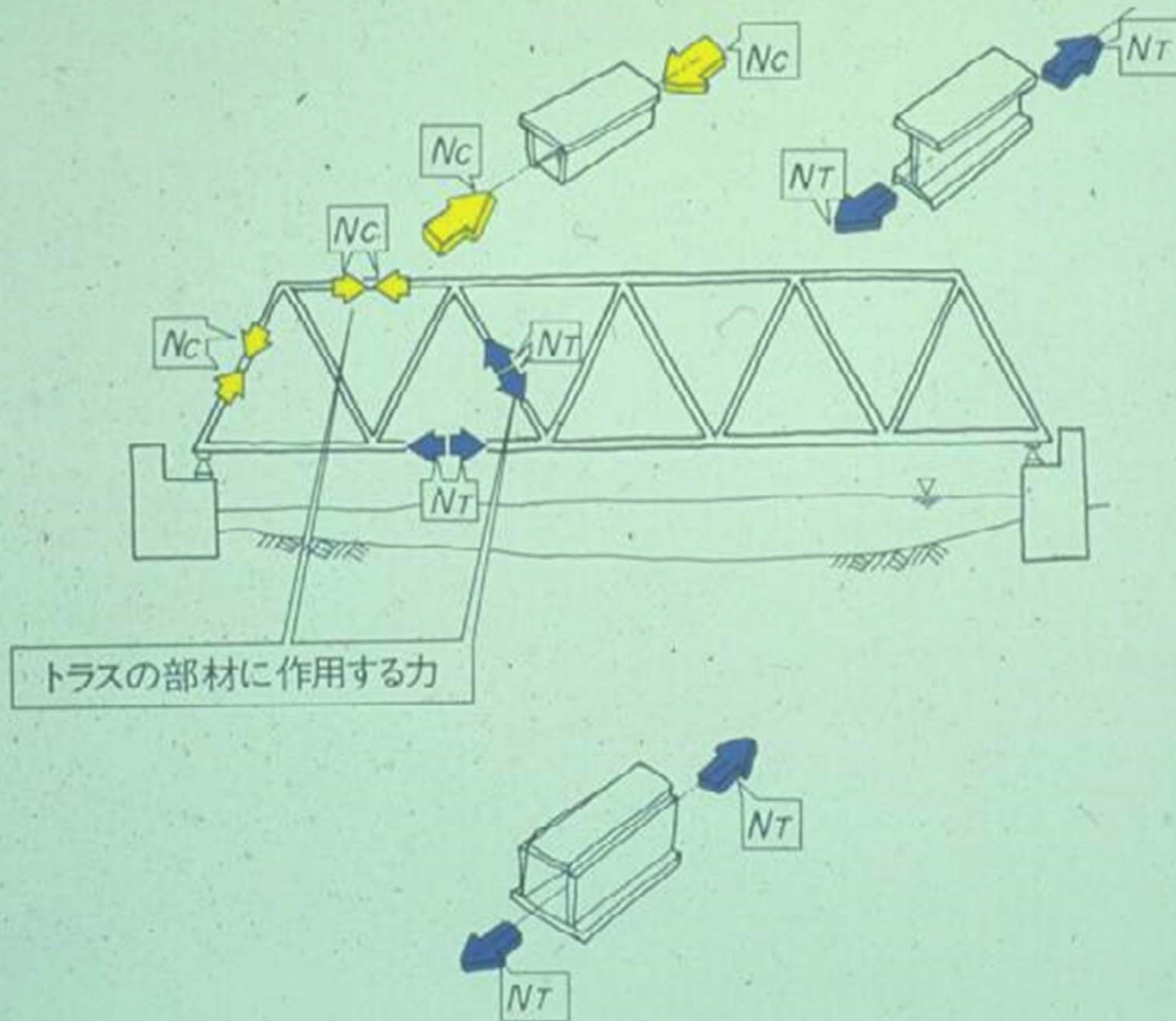
L : 単純げたでは支間

連続げたでは支間の合計

トラス橋



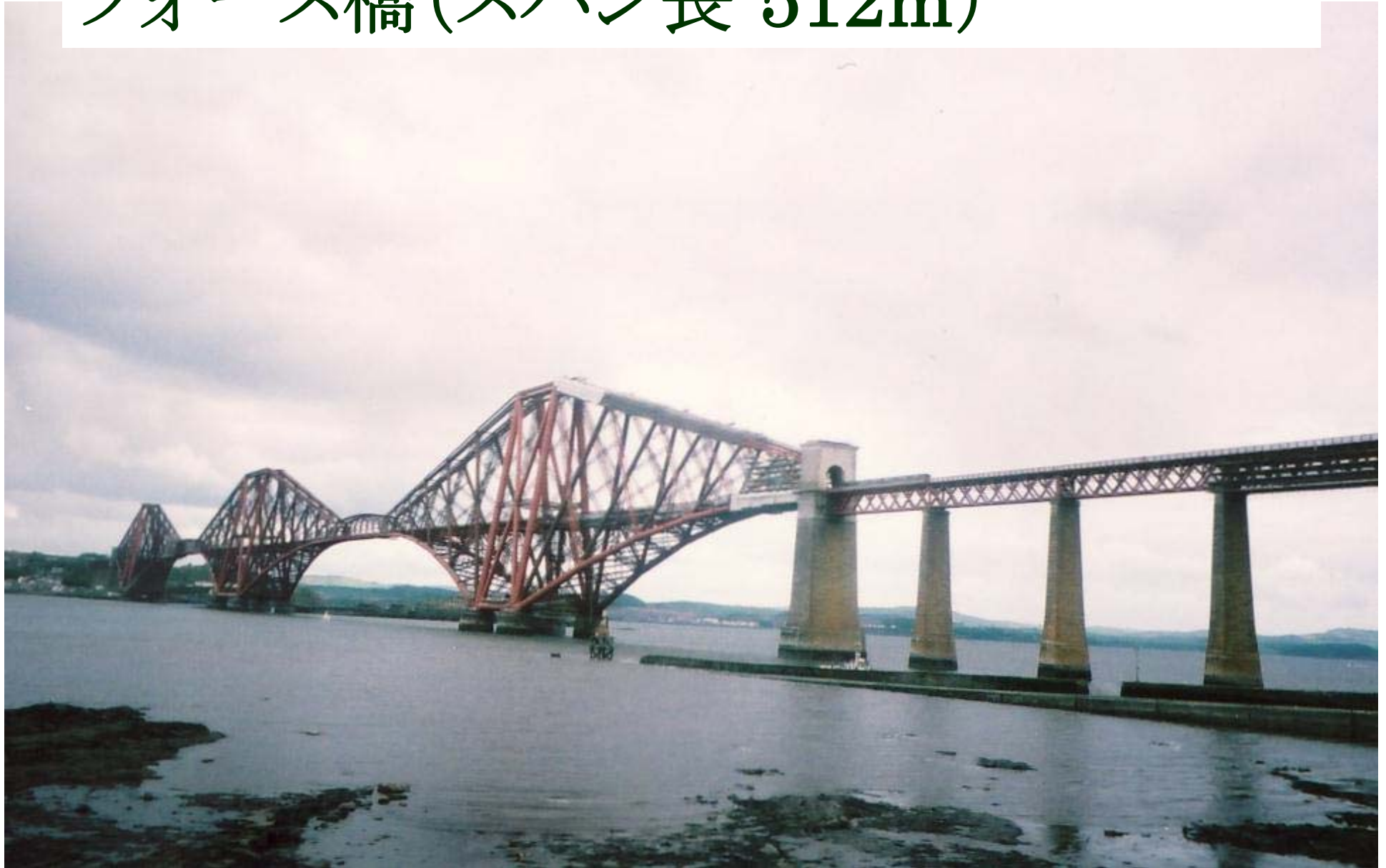
トラス橋の作用力



連続トラス



フォース橋 (スパン長 512m)



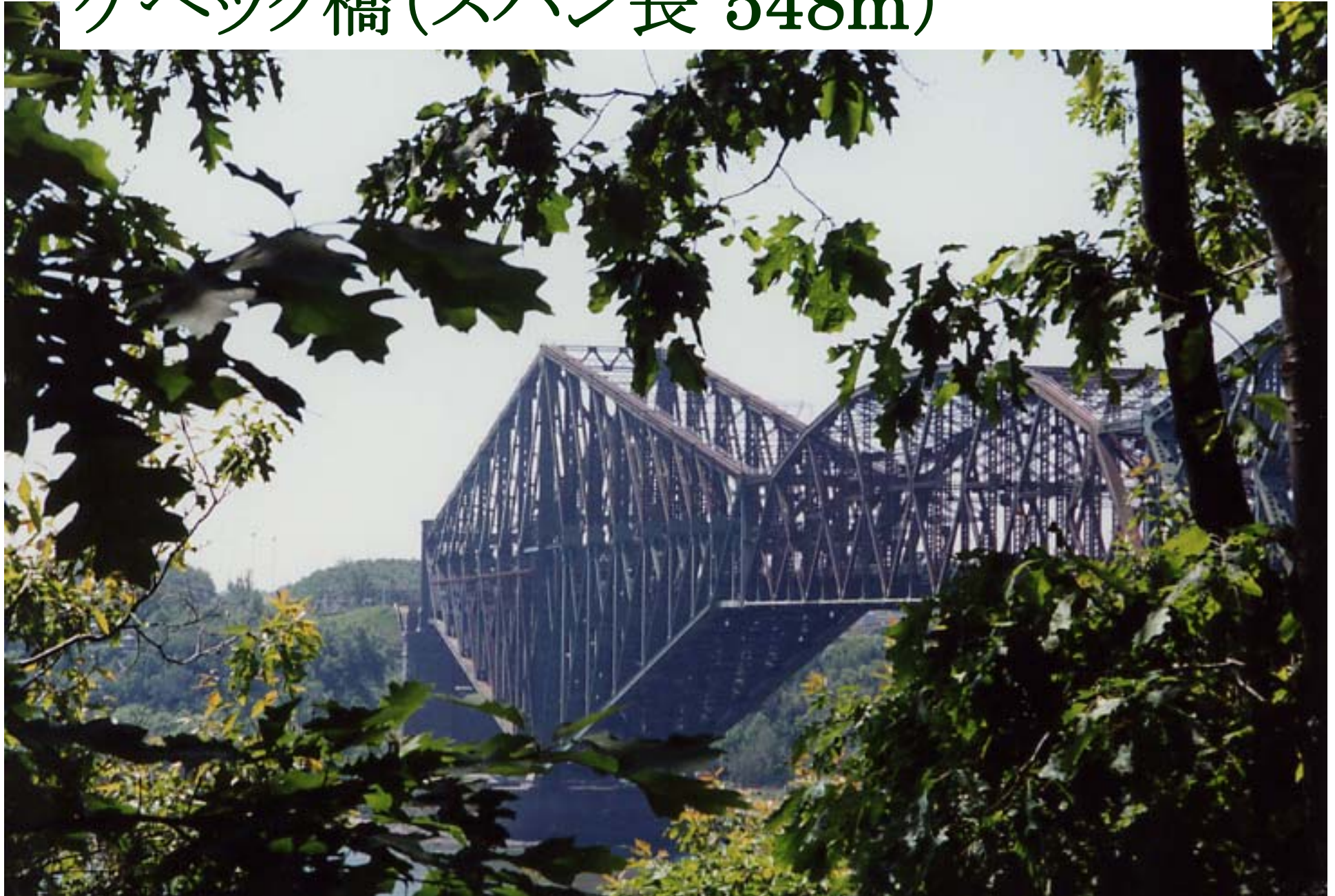
フォース橋 (スパン長 512m)



ケベック橋 (スパン長 548m)



ケベック橋 (スパン長 548m)



東京ゲートブリッジ(スパン長 440m)



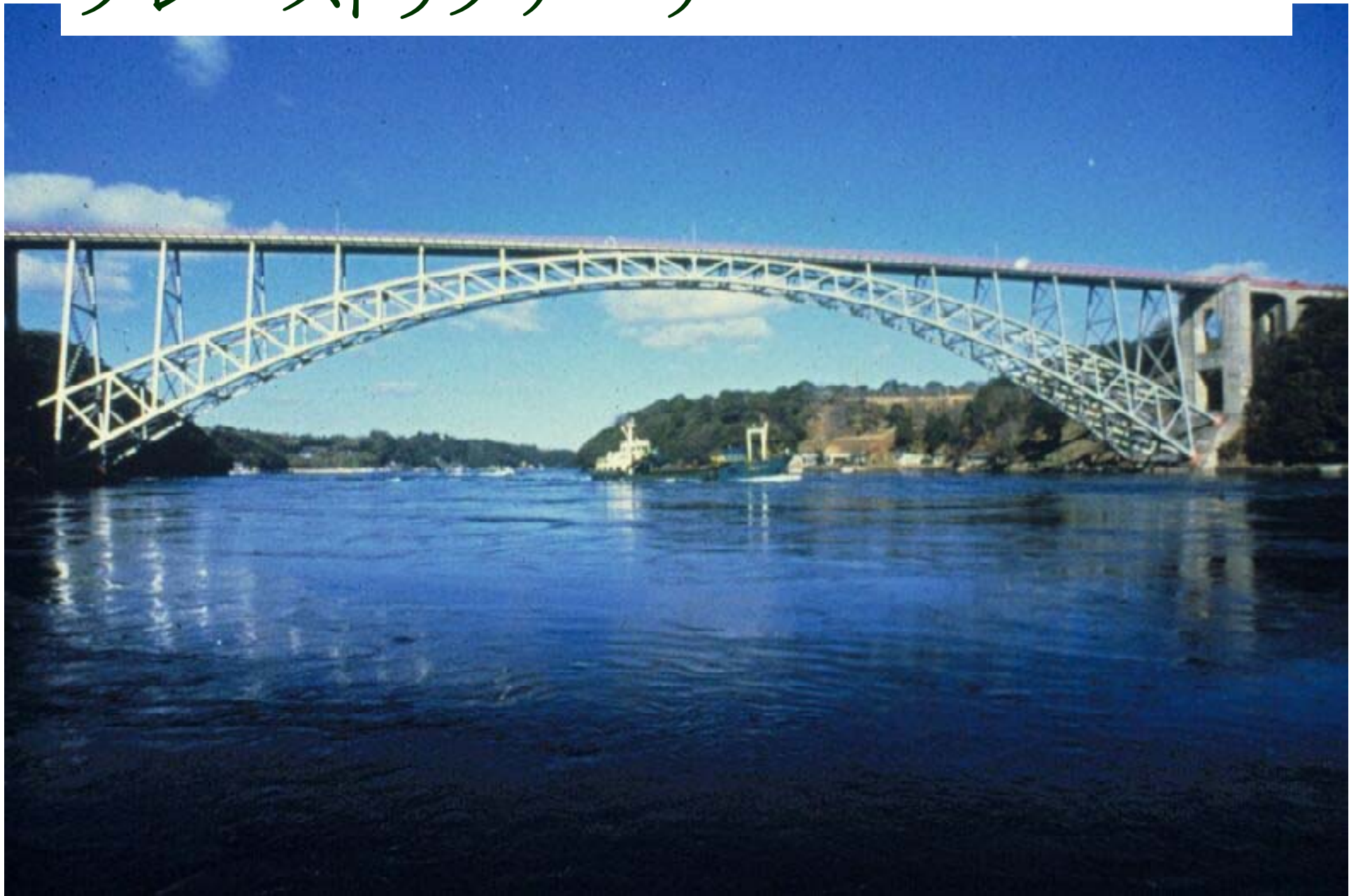
東京ゲートブリッジ(スパン長 440m)



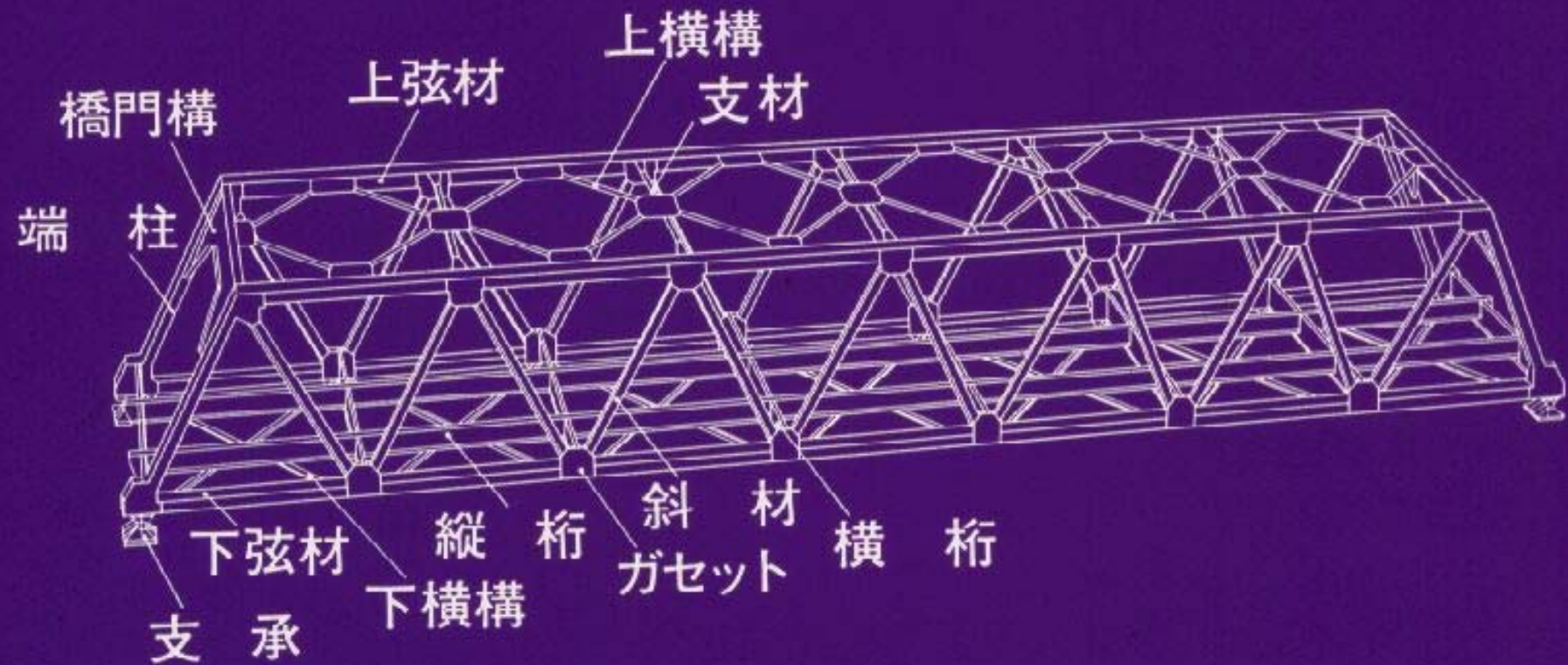
トラス補剛桁



ブレースドリブアーチ



トラスの構造(下路)



トラスの種類

ワーレントラス



プラットトラス



ハウトラス



分格間のあるワーレントラス



分格間のある曲弦プラットトラス

(ベチットトラスまたは
ペンシルバニアトラス)



ポニートラス



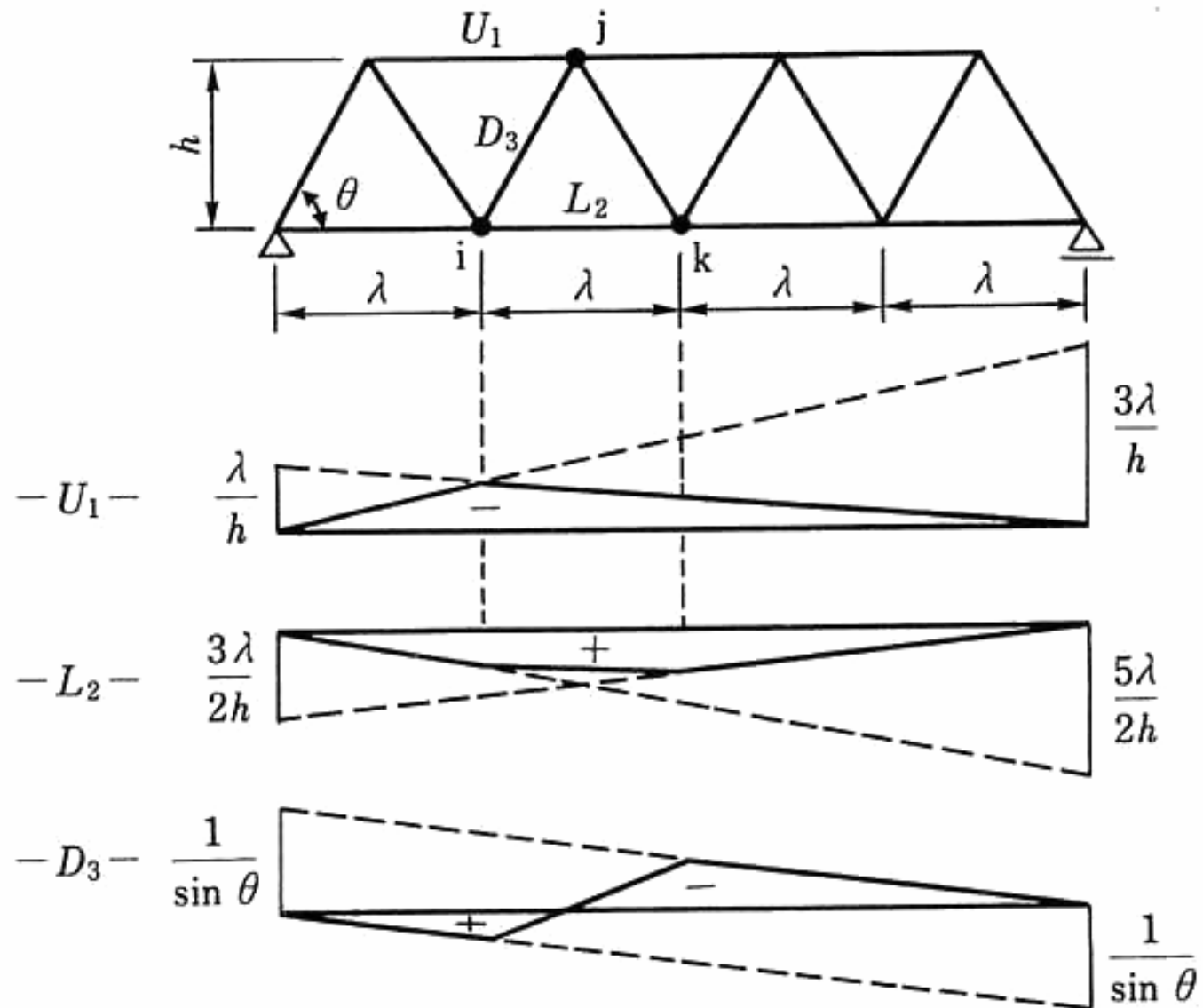
上路トラス



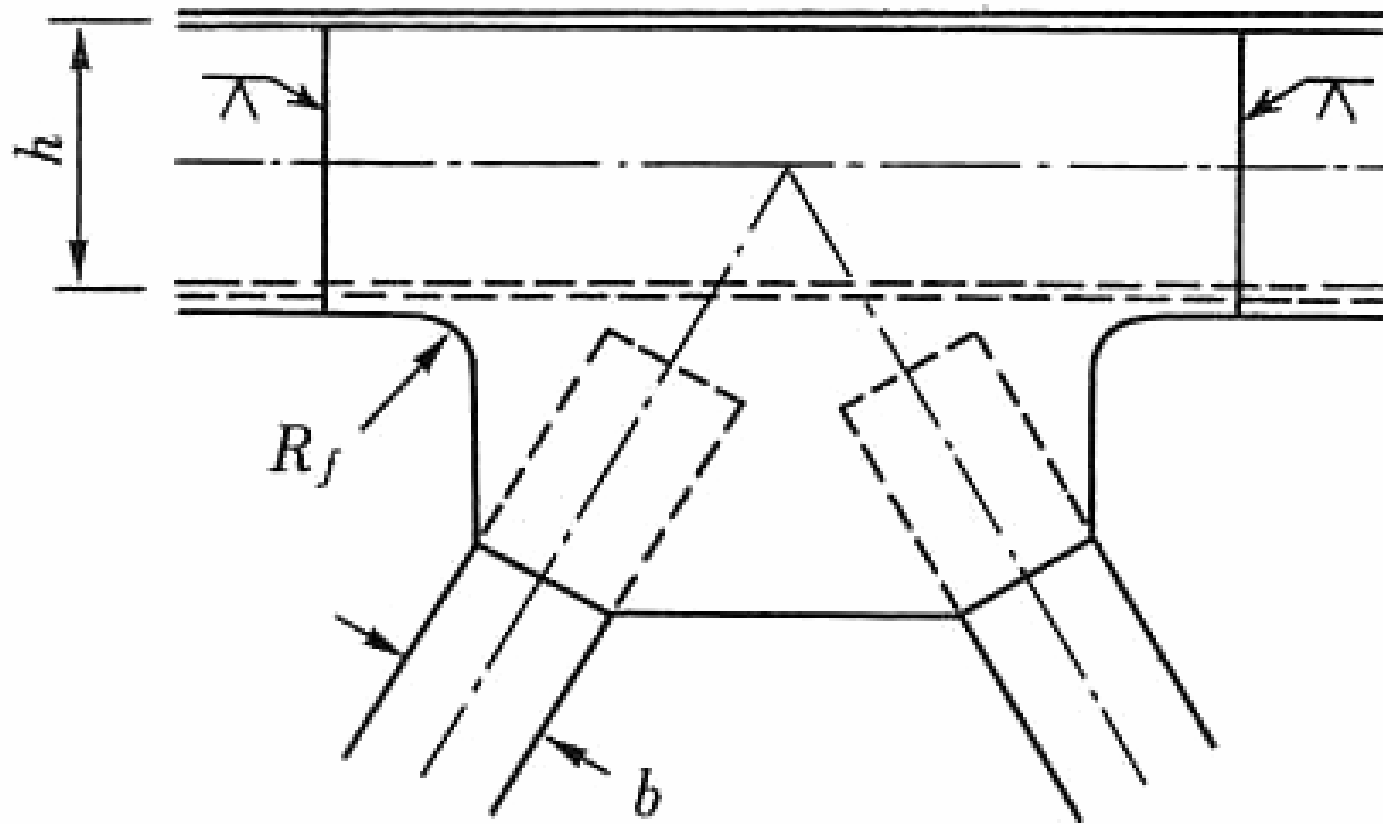
下路トラス



ワーレントラスの影響線



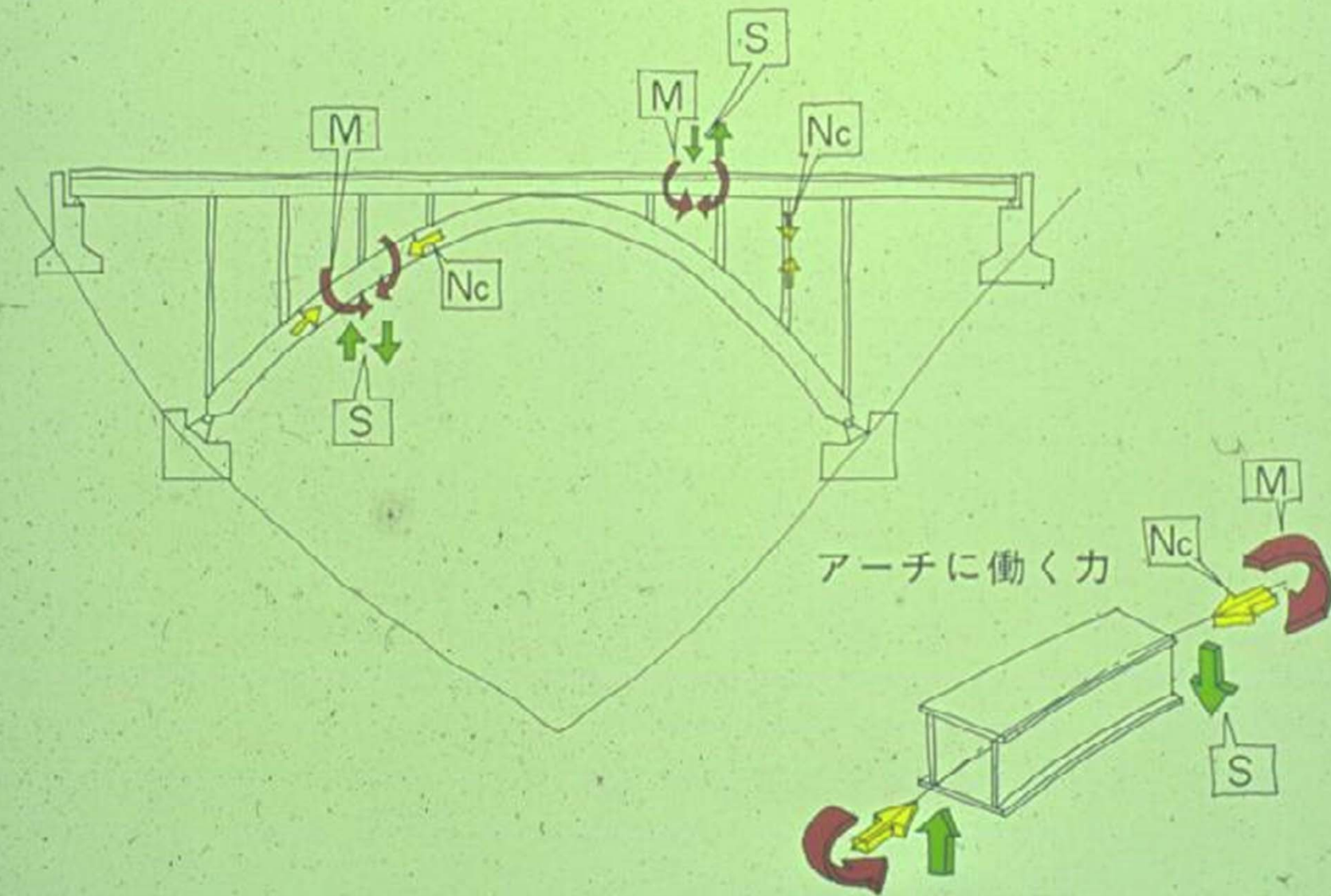
弦材と腹材の連結



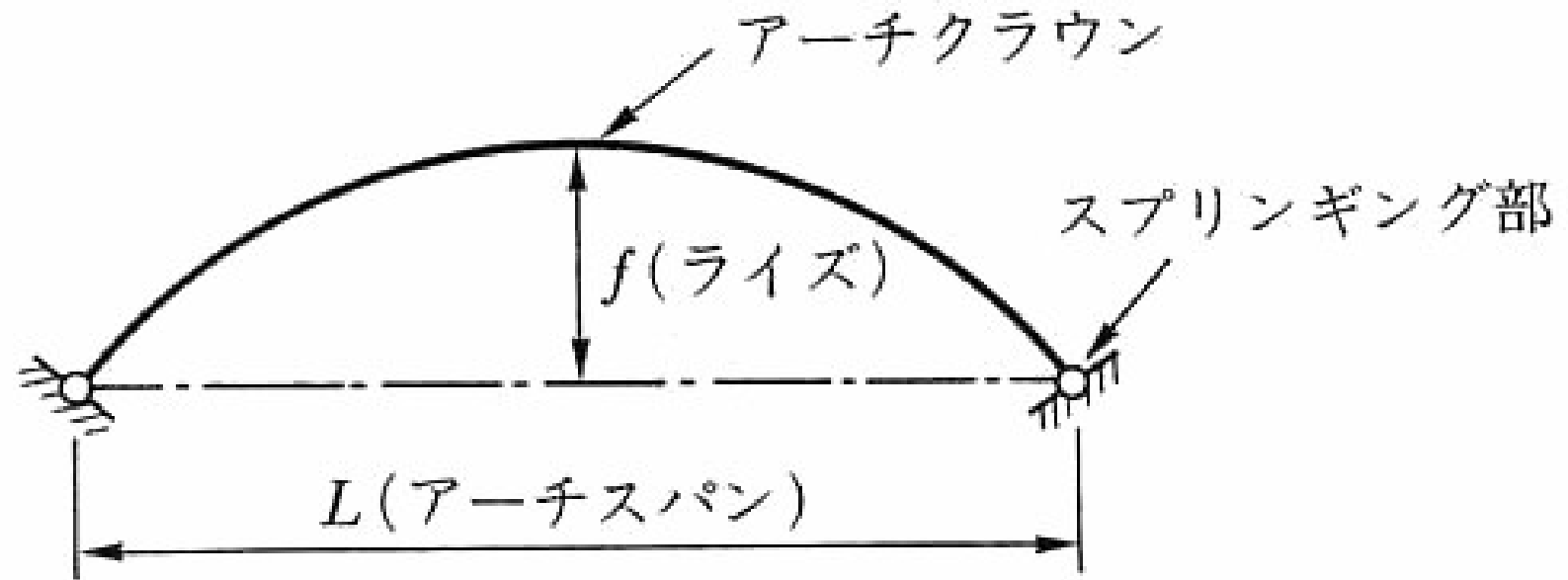
アーチ橋



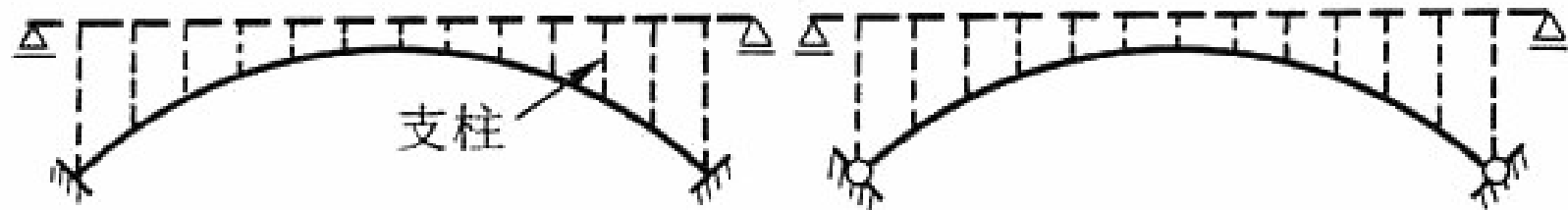
アーチ橋に作用する力



アーチの側面形状

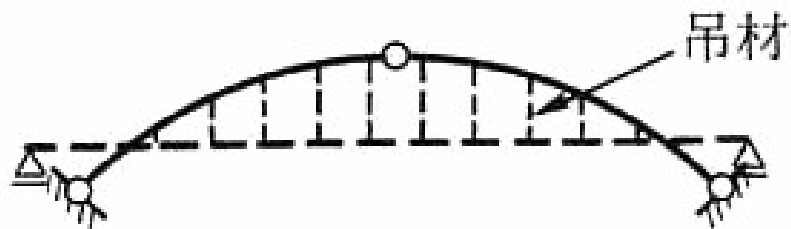


アーチの支持条件による分類

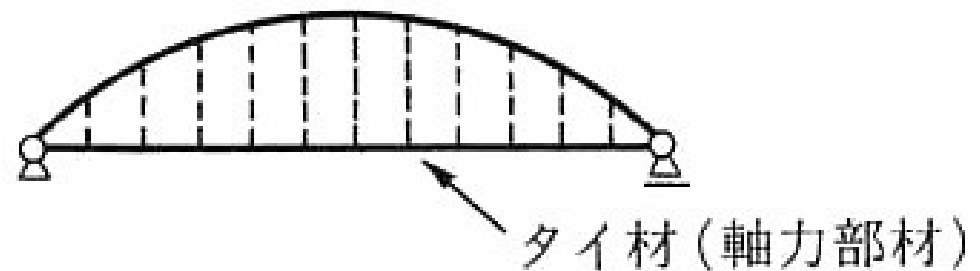


(a) 固定アーチ

(b) 2 ヒンジアーチ



(c) 3 ヒンジアーチ



(d) タイドアーチ

上路アーチ橋



中路アーチ橋



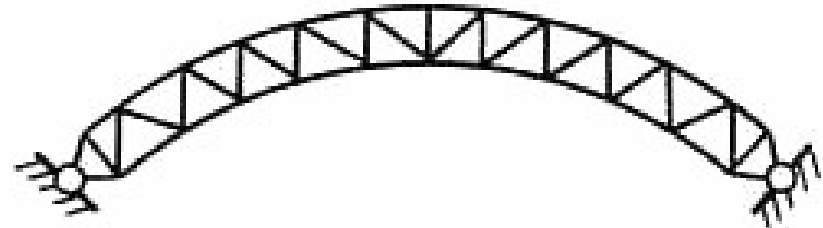
3ヒンジアーチ(下路)



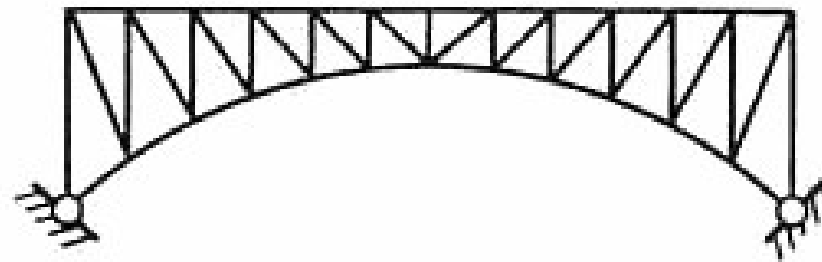
アーチの部材による分類



(a) ソリッドリブアーチ



(b) ブレースドリブアーチ

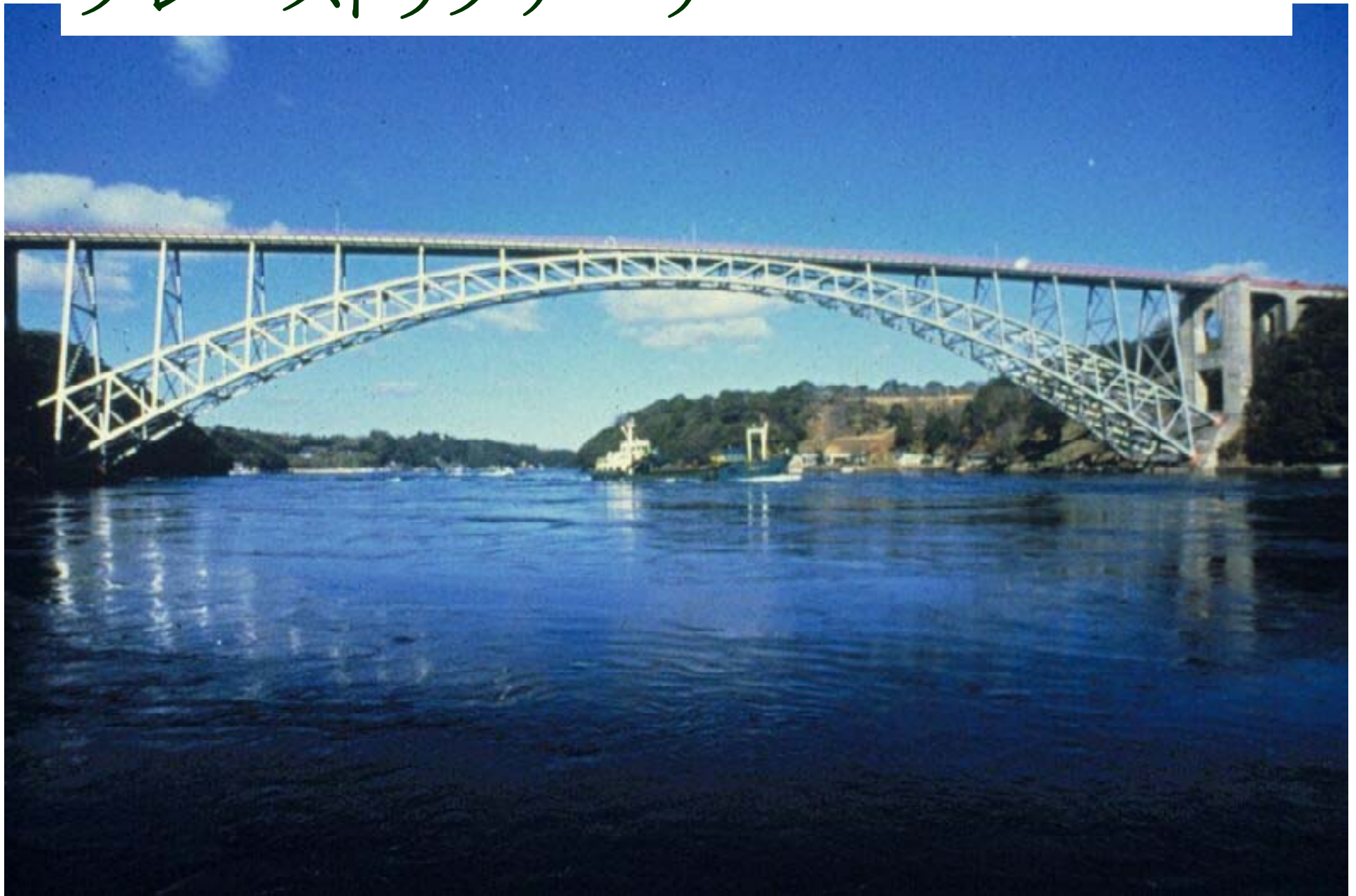


(c) スパンドレルブレースド
アーチ

ソリッドリブアーチ



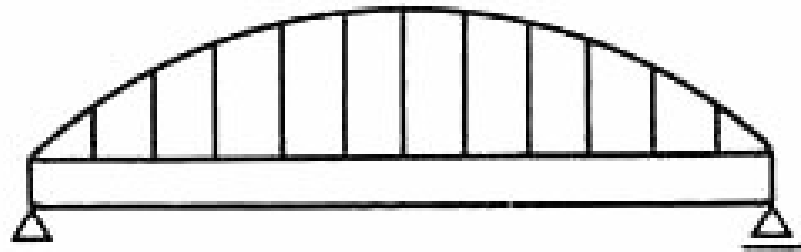
ブレースドリブアーチ



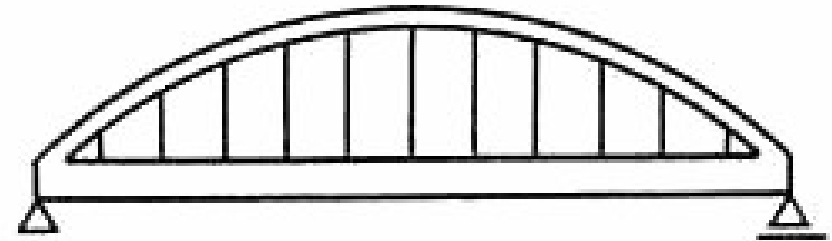
スパンドレルブレースドアーチ



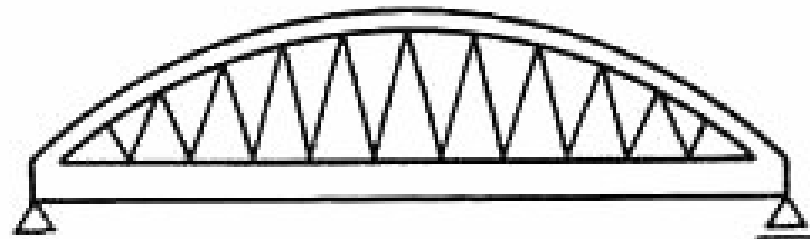
補剛アーチ橋



(a) ランガー橋



(b) ローゼ橋

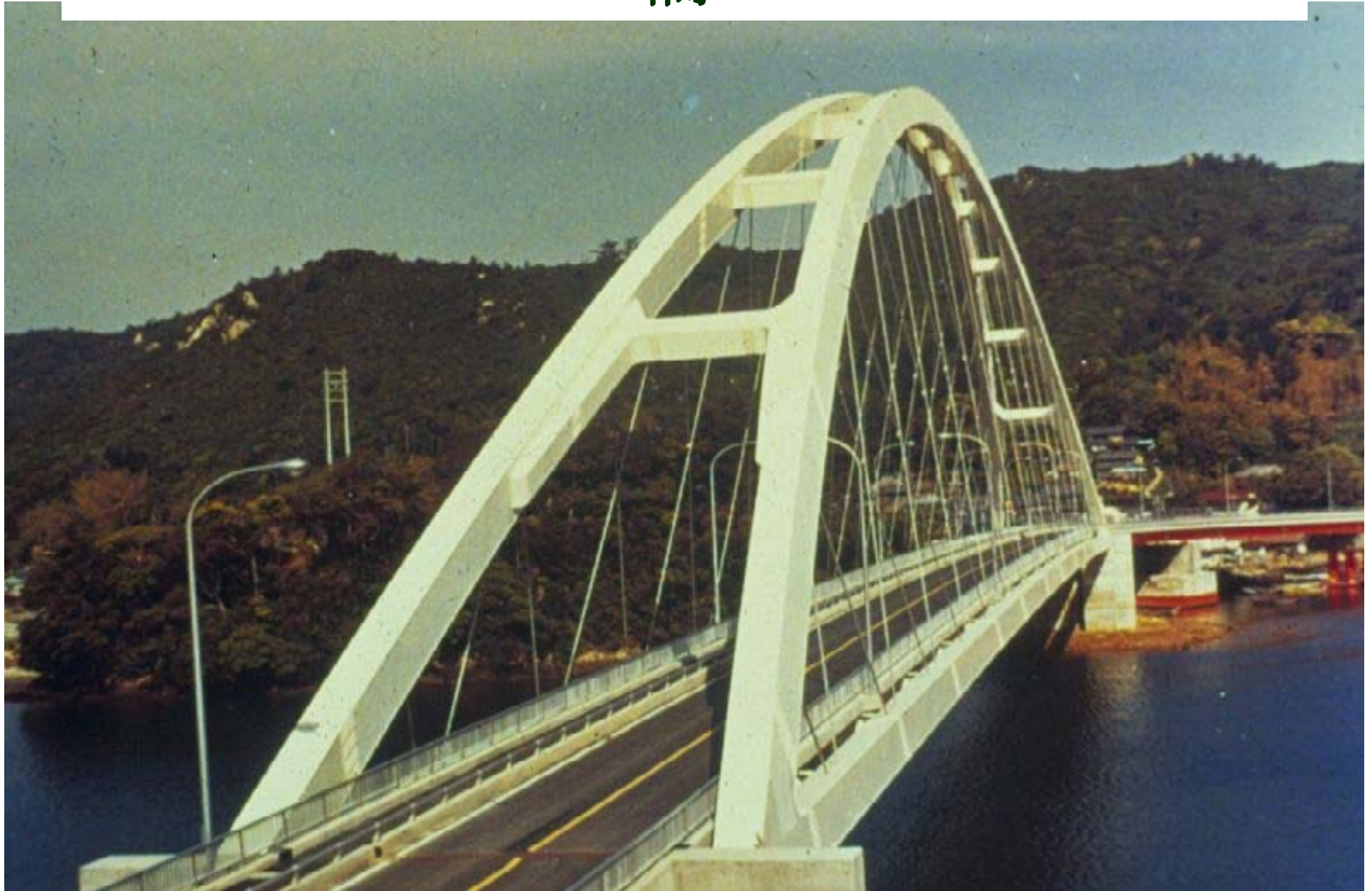


(c) ニールセンローゼ橋

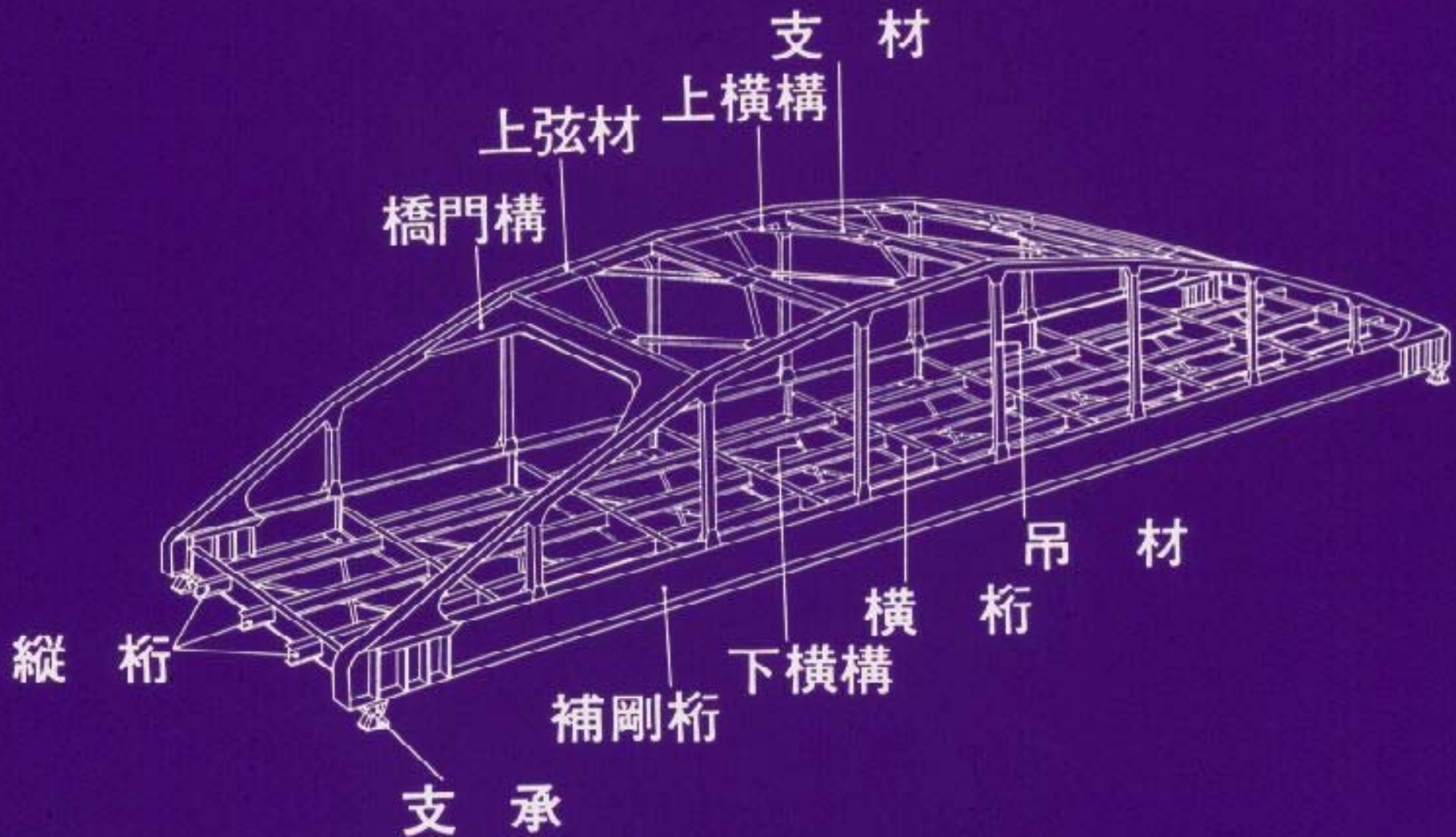
ランガー橋



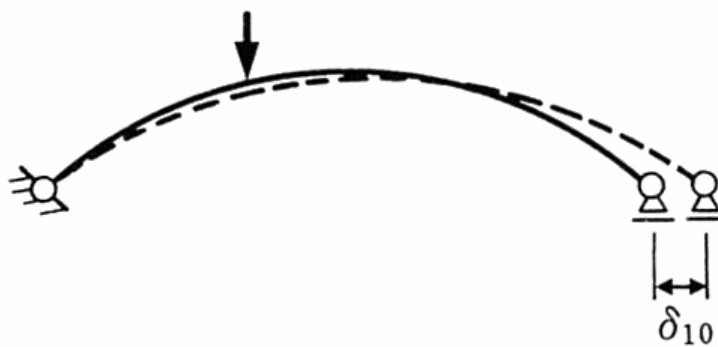
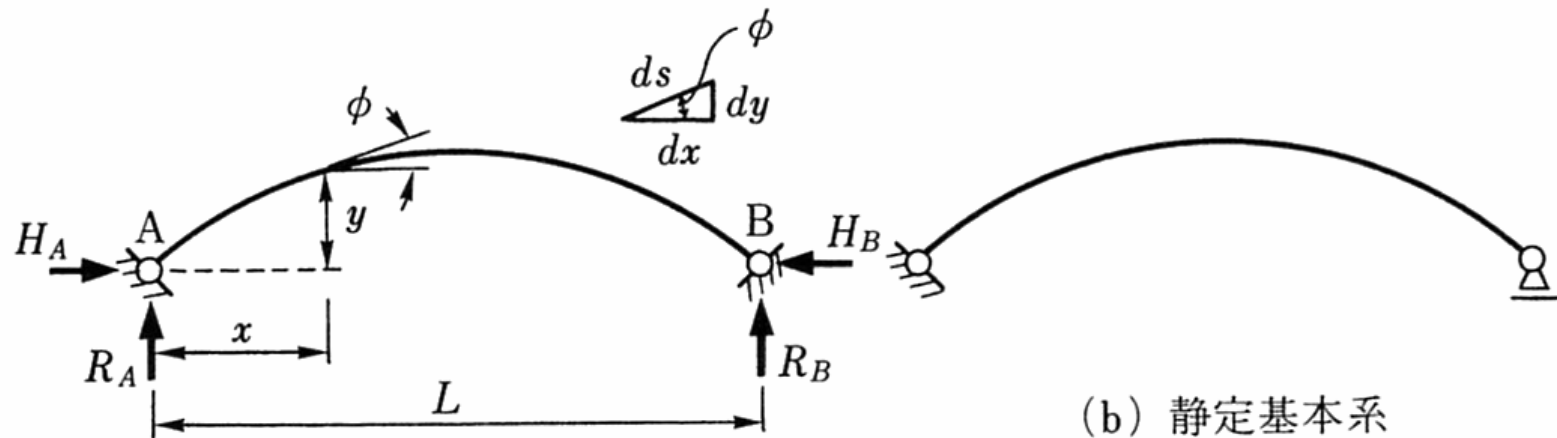
ニールセンローゼ橋



アーチ橋の構造(下路)



2ヒンジアーチの影響線の計算

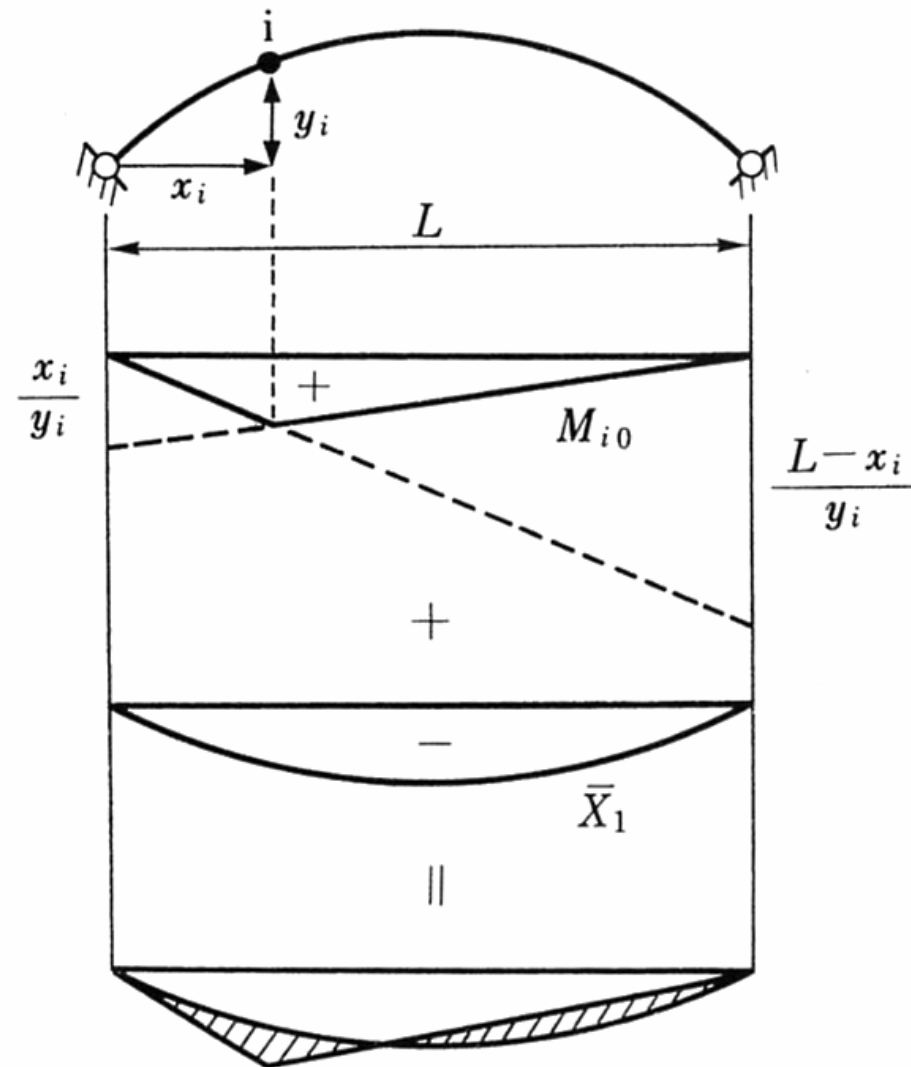


(c) 外力による変位



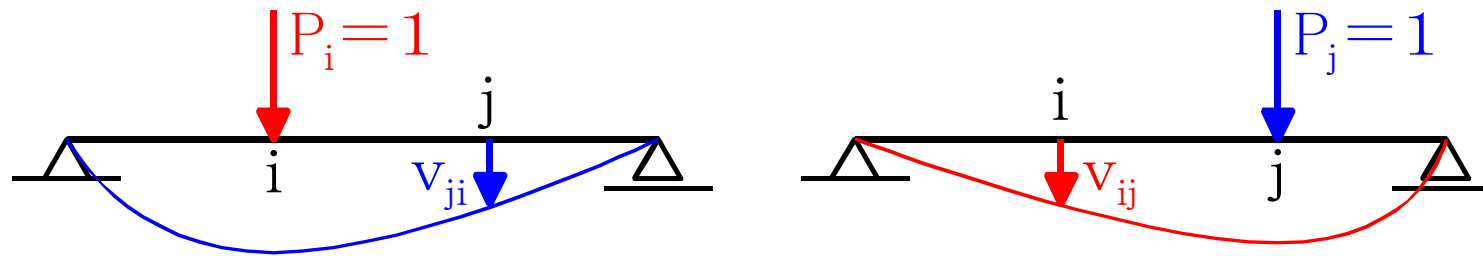
(d) 単位不静定力による変位

アーチの曲げモーメントの影響線



マックスウェルの相反定理

- 弾性体の2点の力と変位の関係（不静定也可）
 - 同じ構造物上の2点 i , j

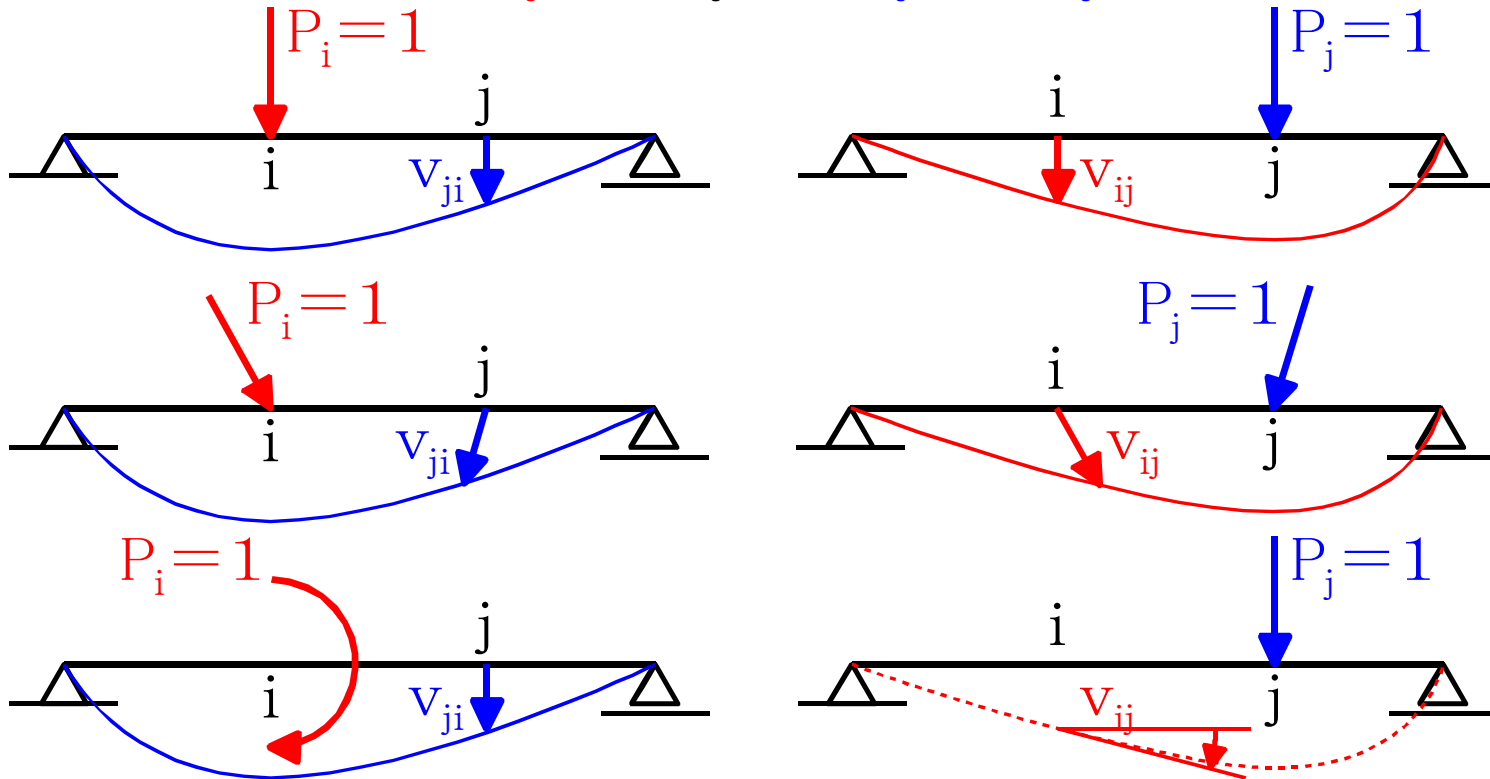


- 点 i に単位荷重 $P_i = 1$ を作用させたときの点 j の P_j に対応する (P_j 方向の) 変位 v_{ji}
- 点 j に単位荷重 $P_j = 1$ を作用させたときの点 i の P_i に対応する (P_i 方向の) 変位 v_{ij}
- 両者は等しい: $v_{ij} = v_{ji}$

マックスウェルの相反定理

- 2点の力と変位：それぞれ同じ向き

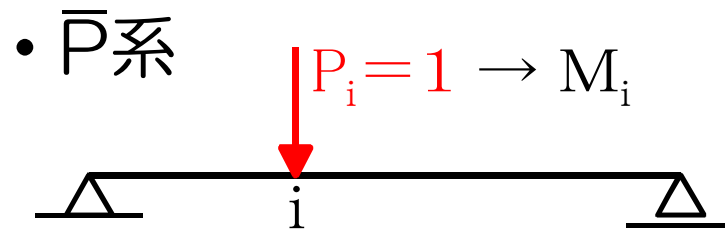
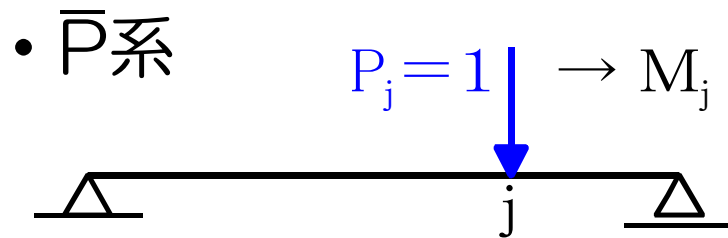
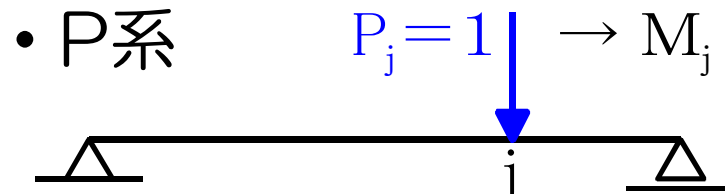
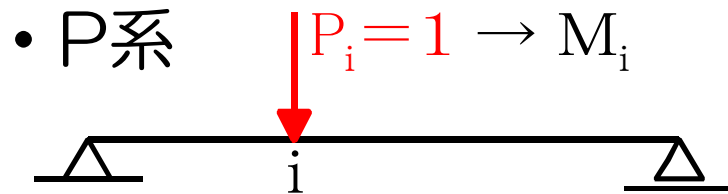
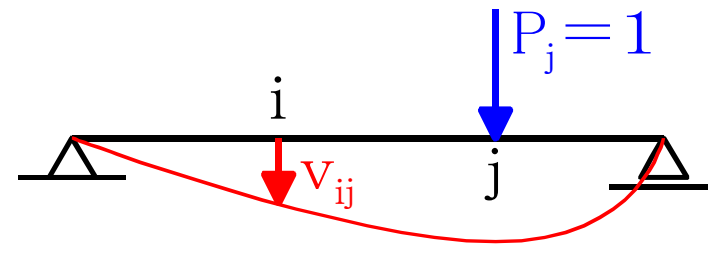
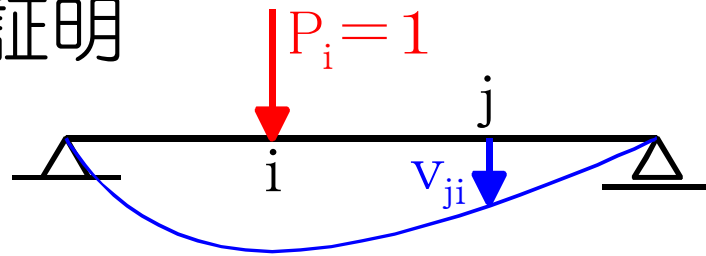
- 点 i : P_i と v_{ij} , 点 j : P_j と v_{ji}



- いずれも, $v_{ij} = v_{ji}$ は成立

マックスウェルの相反定理

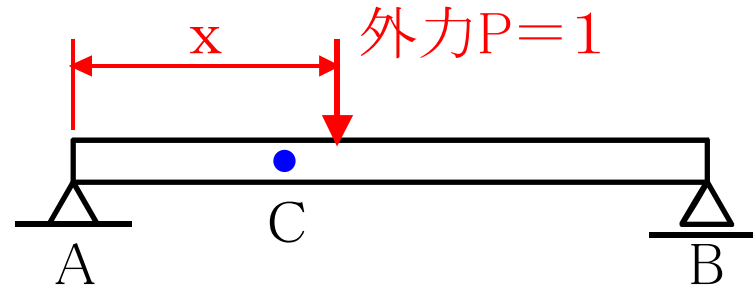
● 証明



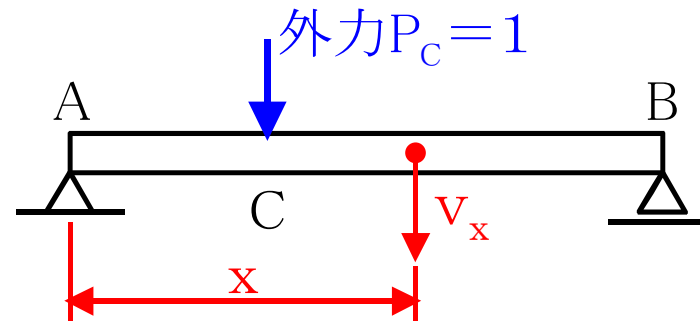
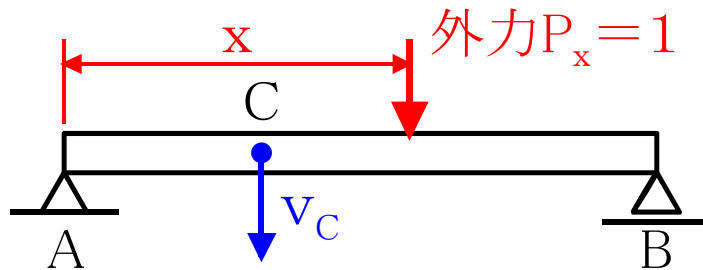
• よって,
$$v_{ji} = \int_0^l \frac{M_i \cdot M_j}{EI} dx = \int_0^l \frac{M_j \cdot M_i}{EI} dx = v_{ij}$$

たわみの影響線

- 例題：点Cのたわみ



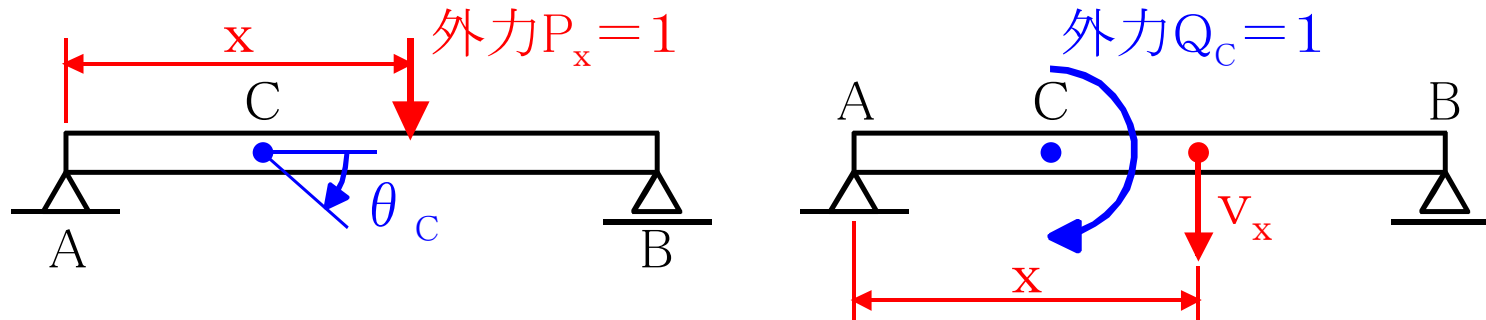
- マックスウェルの相反定理を使う



- 相反定理より, $v_C = v_x$
- 点Cのたわみ = 点Cに単位荷重を作用
の影響線 させたときのたわみ曲線

たわみの影響線

- たわみ角の影響線も同様に得られる



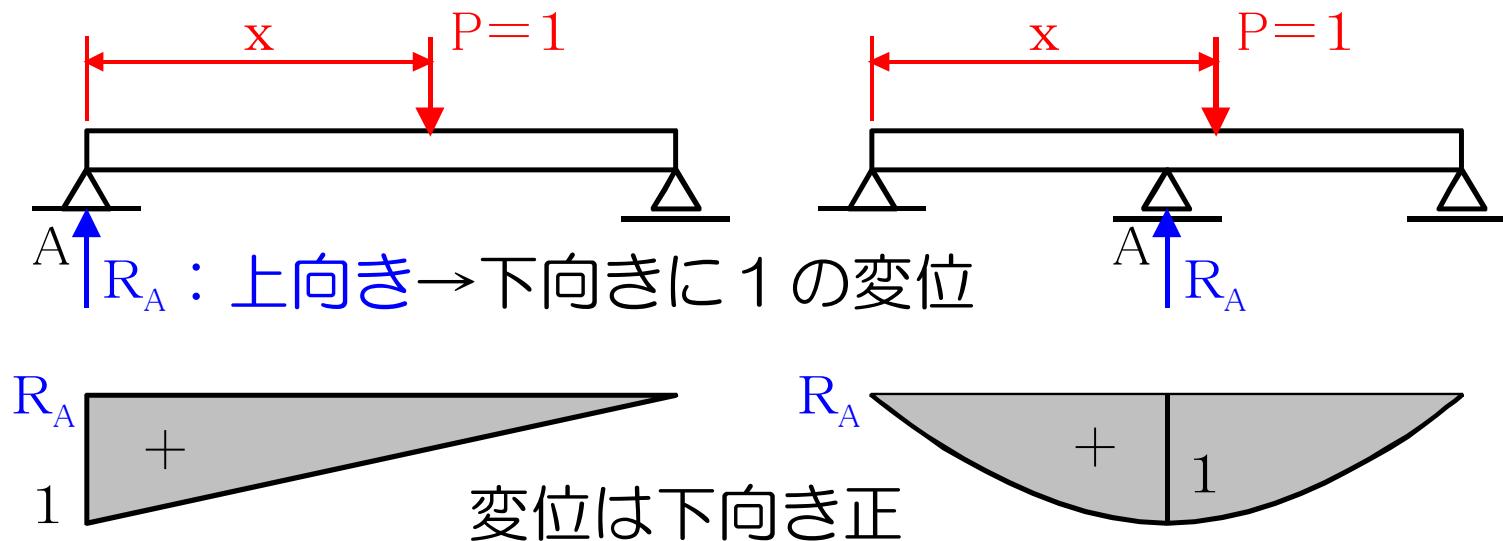
- 点Cのたわみ角 = 点Cに単位回転荷重を
の影響線 作用させたときのたわみ曲線

× 点Cに単位荷重を作用 → たわみ角曲線

※ 各点 (C, x) で, 力と変位は同じ向き

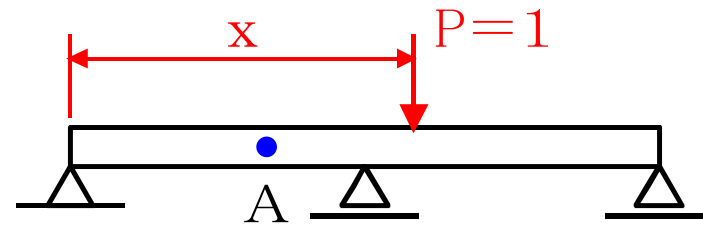
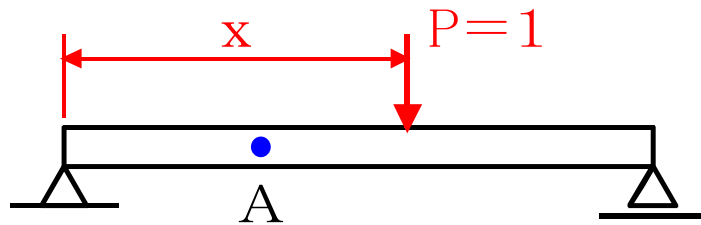
ミューラー・ブレスロウの定理

- 構造物の1点Aに働く断面力（反力）Qの影響線は、点AにおいてQに対応する大きさ1の負の変位を与えたときの、変位曲線によって与えられる
- 例：はりの反力の影響線

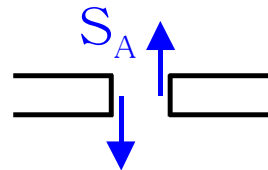


ミューラー・ブレスロウの定理

- 例：はりのせん断力の影響線

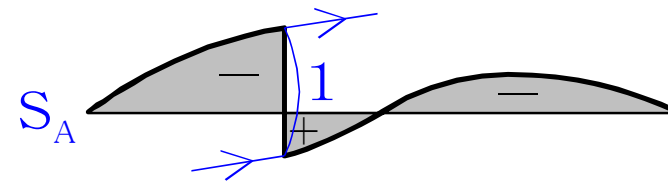
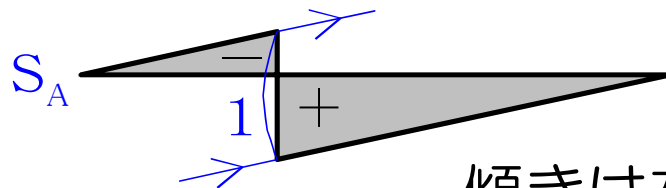
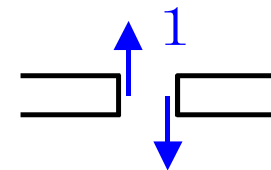


- せん断力の
の向き



→

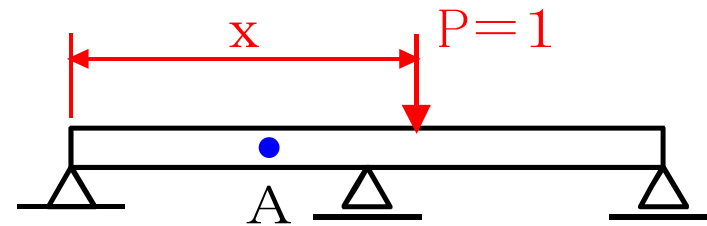
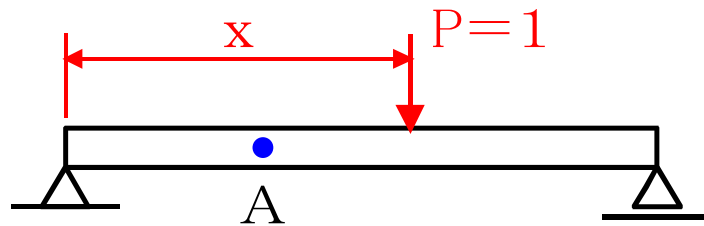
- 逆向きに
相対変位 1



傾きは左右で同じ

ミューラー・ブレスロウの定理

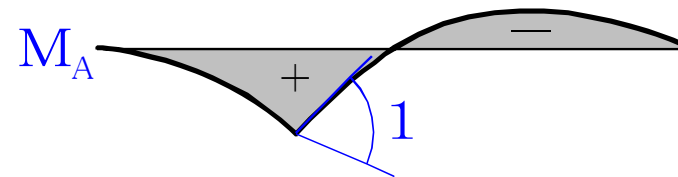
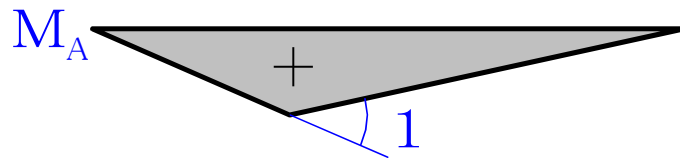
- 例：はりの曲げモーメントの影響線



• モーメント
の向き $\Rightarrow$

$\rightarrow$

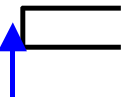
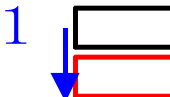
• 逆向きに
相対変位 1 $\Rightarrow$

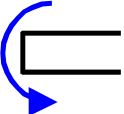
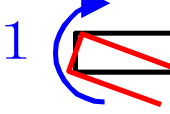


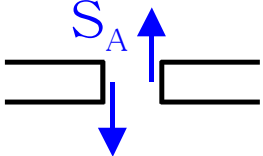
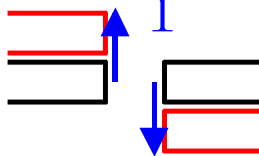
M・Bの定理による影響線の求め方

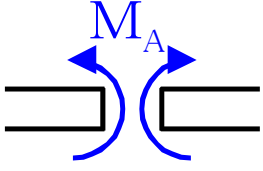
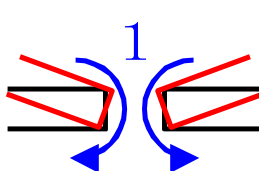
- 求めたい反力，断面力に対応する変位を与える

- 変位の向きと大きさ：力と逆向き，大きさ1

• 鉛直反力 R_A  → • 鉛直変位 

• 回転反力 C_A  → • 回転変位 

• せん断力 S_A  → • 相対変位 

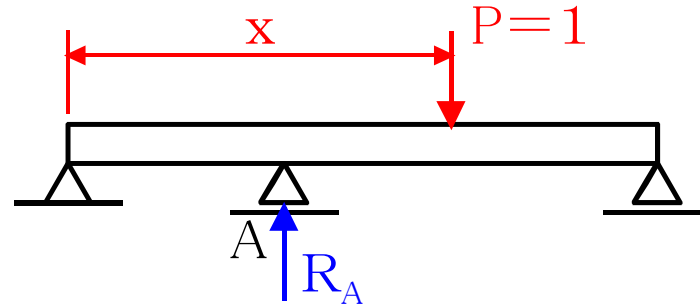
• モーメント M_A  → • 相対変位 

- そのときの変位曲線が求める影響線となる

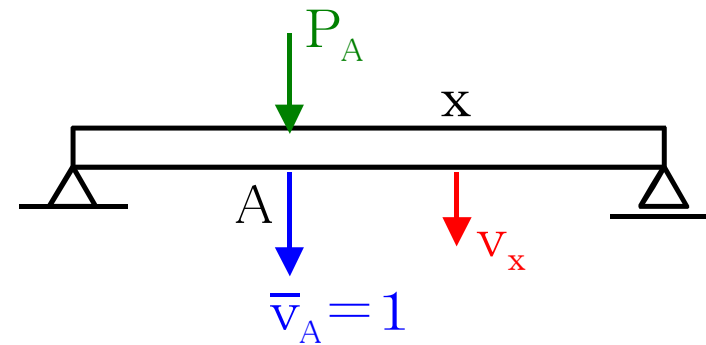
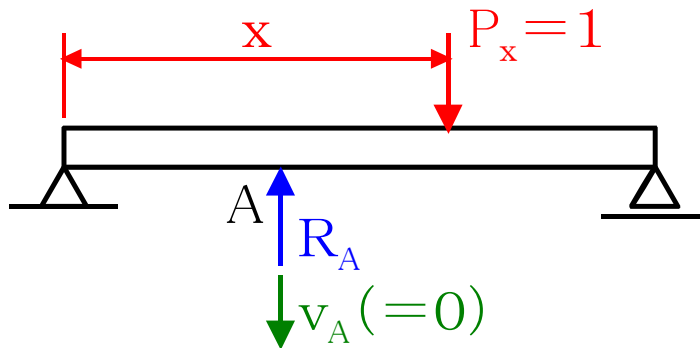
ミューラー・ブレスロウの定理

- 証明（不静定）

- 反力の例題



- 等価な静定構造を考える



- 相反定理より, $P_x \cdot v_x - R_A \cdot \bar{v}_A = P_A \cdot v_A$

- $P_x = \bar{v}_A = 1$, $v_A = 0$ より, $R_A = v_x$

相反定理による影響線の求め方

- 相反作用の定理の応用
 - 不静定構造でも可
 - トラスでも可
- たわみ（たわみ角）の影響線
 - マックスウェルの相反定理より求める
- 反力，断面力の影響線
 - ミューラー・ブレスロウの定理より求める