

第3回 道路線形の基礎

講師：鷲見 英吾*

1. はじめに

今回の講座では、橋梁を計画するうえで必要となる道路線形の基本から、線形の留意点、橋梁一般図の読取り方について説明します。

2. 道路線形とは？

道路線形とは、道路の中心線が立体的に描く形状で、このうち平面的にみた道路中心線の形状を「平面線形」、縦断的にみた道路の中心線の形状を「縦断線形」といいます。

平面線形は、直線、円曲線、緩和曲線などにより構成され、縦断線形は直線、縦断曲線より構成されています。

2.1 道路線形は何によって決定しているか？

道路線形は道路を利用する人や自転車・自動車が、それぞれの箇所において環境や地形地質、利用する交通量に対して、安全に通行できるように決められています。とくに道路を利用する自動車は、道路線形により走行しやすさや走行の安全性が左右されます。

自動車が安全に走行するためには、「タイヤと路面の摩擦により滑らないで走行できること」、「運転者が見まちがいなく反応できる時間が運転中に確保できること」が必要です。つまり、走行速度により安全に走行できる道路線形が変わります。走行速度が速ければ速いほど、タイヤと路面の摩擦が減るとともに、運転者の判断も遅れることとなります。逆に走行速度が遅ければ運転者の判断も十分可能となり、道路線形を危険側へ変化させても、安全に走行できます。

「道路構造令の解説と運用」¹⁾では、設計速度は、計画交通量や立地状況により決まる「道路区分」により分類されています。ここでは、道路区分や計画交通量といった道路計画の基本事項は、広義な内容となるため、設計速度と道路線形の関係から説明します。

2.2 設計速度とは

設計速度は道路の幾何構造を検討し、設計するために必要な車両の速度であり、「安全な走行に関する幾何構造（曲線半径、勾配、視距など）の設計の基礎として用いる車両の速度」を指します。

(1) 設計速度と道路区分

道路構造令では道路の区分に応じて設計速度を定めています。道路の区分は、高速自動車国道および自動車専用道

路、そのほかの道路で大きく区分され、それぞれに地方部と都市部、さらにそれぞれに計画交通量に応じて第1級から第4級まで分類されています。区分された道路に応じて、速度120 km/hから20 km/hを設計速度としています。

(2) 設計区間

設計区間とは、道路の存在する地域、地形の状況、交通量などに応じ同一の設計基準を用いて道路を計画する区間で、同一の道路区分を適用する区間です。

設計区間長（同一の設計基準適用区間長）は、おおむね20 min 走行長を標準として、10 km以上の延長としています。

2.3 平面線形の基本

平面線形は、適度な変化があり、安全で設計速度に近い速度で一様に走行できることが理想です。変化が無い線形や急激な変化は望ましくありません。円曲線・緩和曲線・直線が同じ線形要素として組み合わせられると、車両は道路を設計速度に近い一様な速度で走行できます。

(1) 円曲線の特徴

円曲線長は視覚の点から、円曲線を感じ取れる十分な長さが必要です。円曲線は、地形に沿わせるための線形の方角転換と、長い直線の欠点を代替えるために用いられ、設計速度で安全かつ快適に走行できる大きい半径が望ましいです。

半径が大きい曲線部は、直線部に比べて自動車の走行性に適しています。これは、直線部では雨水を速やかに排除するための横断勾配を設ける必要があり、横断勾配に抵抗して走行することとなります。一方、大きな曲線部では、走行上必要となる横断勾配が曲率半径により付加され、走行における抵抗が小さくなります。

(2) 緩和曲線の特徴

緩和曲線は、目で見て徐々に変化することが分かり、それに続く円曲線に錯覚を与えないだけの長さが必要です。一般に緩和曲線を多く用いた道路は、変化に富んで走行上の安全性と快適性が高くなります。

円曲線と直線を繋ぎ、安全で快適な線形とするため、緩和曲線を用います。自動車が直線部と円曲線部との間を、また曲率半径の異なる円曲線部相互の間を円滑に走行するためには、曲率半径の徐々に変化する緩和走行を必要とします。このような箇所では緩和区間を設けて自動車の円滑な走行を助けます。

* Eigo SUMI : 八千代エンジニアリング(株) 事業総括本部 国内事業部 構造・橋梁部

(3) 直線の特徴

直線は、直線と感じ取れる十分な長さを必要とします。これは、短すぎると次の線形を見誤り危険な走行になる、一方で長すぎても運転者が飽きてしまい運転の反応速度が落ちてしまうという弊害もあります。交差点付近や郊外の商業地など、直線区間が長い程安全となる場合もあります。

理想の直線長は、1 min ~ 1.5 min 走行長であるといわれています。直線長が短いと前述のように問題が発生しやすくなります。背向曲線（S字曲線）の中間部に配置する直線長は、設計速度による走行で2s以上、同方向に屈曲する曲線間では6s走行長以上とする必要があります。

(4) 曲線半径

曲線部に用いる曲線半径は、表 - 1 の標準値以上を用いるのが理想です。

表 - 1 曲線半径

設計速度 (km/h)	標準曲線 半径 (m)	最小曲線半径 (m)			
		最大片勾配			片勾配 なし
		10 %	8 %	6 %	
80	400	230	250	280	-
60	200	120	140	150	220
50	150	80	90	100	150
40	100	50	55	60	100
30	65	-	30	30	55
20	30	-	15	15	25

※ここでは紙面の都合上 80 km/h までを記載する。

片勾配の規定値は、AASHO²⁾ の考え方にならって走行上から検討した安全性と快適性により決定しています。片勾配を規定するうえで課題となるのは、自動車が一様な設計速度ではなく、変動を考慮する必要があることです。また、曲線部では、路面の横滑り摩擦力で遠心力を受けもたせることになるのですが、路面の種類・乾湿・凹凸状態やタイヤの内圧・トレッドの状態により、横滑り摩擦係数が相当広い範囲で変動することです。

最小曲線半径は、設計速度で走行して横滑りする限界値よりも安全側の数値を規定していますが、最小曲線半径を採用するうえでは、十分な理由がある場合のみに限定し、基本的には採用しないことが望ましいです。

標準曲線半径は、標準値であり採用に際しては、できるだけ大きな値を採用するのが一般的です。走行の快適性を考慮すると、最小曲線半径の2倍程度を用いるのがよいとされています。

(5) 緩和曲線（パラメーター）

緩和曲線は、一般にクロソイドを使用します。クロソイドは、曲線長と曲線半径が逆比例する性質の曲線です。クロソイドのイメージは、たとえば、車に乗って等速度で走行しハンドルを同じ速さで切った場合に、後ろ車輪軸中心が描く軌跡がクロソイドとなります。

図 - 1 はパラメーター $A=1$ の時のクロソイドです。曲線半径 R が無限大 ∞ (直線) をスタート点 \textcircled{A} とし、 \textcircled{A} から $1/40$ の長さの位置で $R=40$ 、長さ $1/10$ で $R=10$ 、……長さ $1/0.6$ で $R=0.6$ となります。つまり、パラメーター $A=1$ の時、 $R \times L=1$ となり、 $R \times L=A^2$ の関係が成り立ちます。

パラメーターの大きさが K であるクロソイドの、長さの単位を持つ要素はすべて、 $A=1$ クロソイドの要素を K 倍すればえられます。すなわち、パラメーター A は拡大率と考えても良いです。

クロソイドは、曲率のすりつけ、走行時間、片勾配のすりつけに必要な長さを確保し、かつ目で見て十分な大きさを確保することが理想です。つまり、走行力学上必要な大きさ、ハンドル操作上必要な大きさ、片勾配すりつけから必要な大きさ、視覚的に望ましい大きさを満足させます。

以上からクロソイドの望ましい大きさは以下となります。曲線半径が小さいときは走行力学上から必要とする大きさを決定します。中位の曲線半径の場合は運転時間から決まる大きさが理想です。曲線半径が大きくなると、視覚上から必要となる大きさにより決まります。

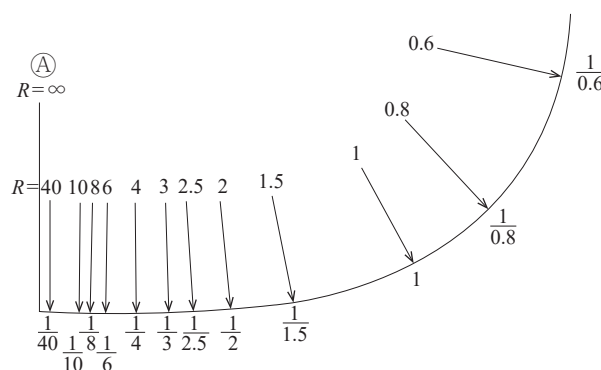


図 - 1 パラメーター $A=1$ のクロソイド

(6) 曲線長

曲線部における円曲線の長さは、緩和曲線と同じくらい確保するのが望ましい長さです。

(7) 曲線部の拡幅

曲線部では曲線半径の大きさによって車線の拡幅を行う必要があります。自動車の前輪と後輪の内輪差により直線部よりも広い幅を必要とします。

前輪の走行が正規の車線位置を通行しながら曲線を走行すると、後輪は内側を通ることから、基本的に内側に拡幅しなければなりません。ただし、曲線半径と緩和曲線の組み合わせにより、走行に影響ない1車線あたりの線形が構築できれば、両側拡幅も可能です。拡幅量の計算は、1車線あたりで実施します。また、走行する対象車両の大きさにより異なるため、留意が必要です。

2.4 縦断線形の基本

縦断線形は、地形に適応し、ゆるやかな変化を持つためらかな線形が理想です。

(1) 縦断線形一般

縦断線形は、平面線形との組合せから、縦断線形による凹凸が一つしか見えなければ問題ありませんが、二つ以上の凹凸が眺望の中にあり、道路が不連続に見えると運転者への不安を助長し好ましくありません。二つの凹型縦断曲線の間に、短い直線勾配を入れると直線部が凸型に見えて、スムーズな走行を阻害する要因となるため、二つの曲線を包括する縦断曲線を一つ入れることが望ましいです。

(2) 縦断勾配

縦断勾配は、3%以下とするのがもっとも望ましいとされています。これは、大部分の自動車はトップギヤのまま登れる勾配で、下りもブレーキを用いずに走行できる勾配と言われているためです。

縦断勾配0%の区間（レベル区間）は原則採用してはいけません。路面の排水確保は道路の機能を維持するためにも必要であり、レベル区間があると、排水確保が不可能となります。最少勾配として0.3%勾配を確保することが必要です。

最急縦断勾配の値（表-2）は、登坂速度の低下をどのくらい許容するかで決めています。

表 - 2 最急縦断勾配

設計速度 (km/h)	80	60	50	40	30	20
最急縦断勾配 (%)	4	5	6	7	8	9

(3) 縦断曲線

縦断曲線は、走行の不快感をなくす衝撃緩和に必要な大きさと、視距（2.4(4)参照）を確保するために十分な曲線半径（表-3）とする必要があります。

表 - 3 最小縦断曲線半径 (m)

設計速度 (km/h)	凸型曲線	凹型曲線	最小長
80	3 000	2 000	70
60	1 400	1 000	50
40	450	450	35
30	250	250	25
20	100	100	20

線形を立体的に調和させるため、平面曲線と縦断曲線を重ねることは望ましい方法です。ただし、以下の点について、留意する必要があります。平面曲線の緩和区間のなかで、片勾配のすりつけから横断勾配が無くなる箇所があります。平面曲線と縦断曲線との重なりがある程度ずれて、横断勾配のごく小さい区間が、縦断曲線の頂部に近い位置にくると、平面的にも縦断的にも水平に近い場所が重なって、滞水する可能性があります（図-2）。対応策としては、排水上必要な路面の合成勾配を0.5%以上とすることが望ましく、最小0.3%を確保できるように、平面線形と縦断線形の重なりを照査することが必要です。

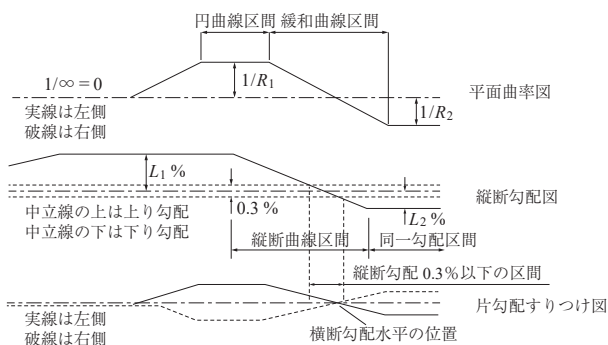


図 - 2 曲線部における横断勾配と縦断勾配の関係

(4) 視 距

自動車交通にとって視距は、その安全性を保ち、交通容量を低下させないため、もっとも重要な要素です。平面線形・縦断線形・幅員・横断勾配が基準を満足していても、道路幅より外に位置する転落防護柵や構造物等により、影響を受ける可能性があるため、平面曲線区間、縦断曲線区間では、視距の照査を行います（図-3, 4）。

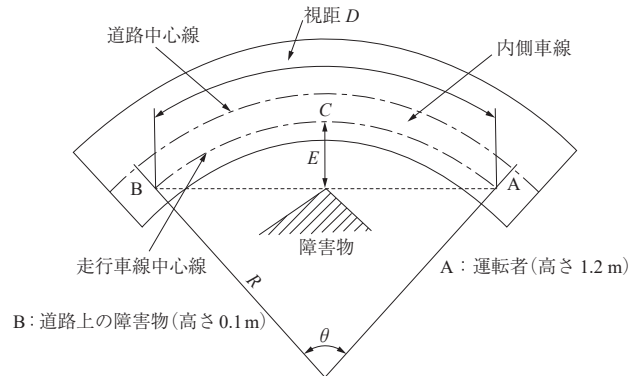


図 - 3 視距の確保（平面の場合）

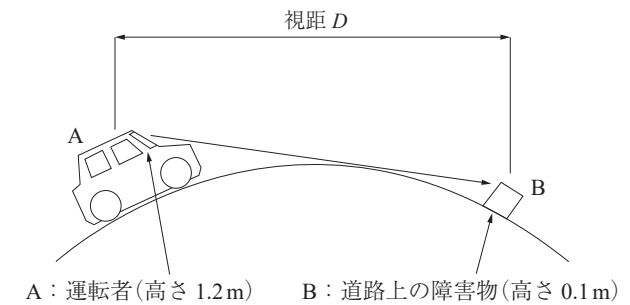


図 - 4 視距の確保（縦断の場合）

視距は、走行上の安全を確保するため、表-4の値以上を確保します。

表 - 4 最小視距

設計速度 (km/h)	視距 (m)	設計速度 (km/hr)	視距 (m)
80	110	40	40
60	75	30	30
50	55	20	20

2.5 横断線形の基本

横断面の構成要素は、車道（車線）、中央帯、路肩、停車帯、自転車道、自転車歩行者道、歩道、植樹帯が主な構成要素です。車線・中央帯・路肩幅員は、道路の区分に応じて規定されています。自転車道・自転車歩行者道・歩道幅員は、設置箇所特性に応じて標準幅員と縮小幅が規定されています。

(1) 横断勾配および形状

路面には、縦断勾配の有無に関わらず、排水上必要な横断勾配を付ける必要があります。直線の道路では走行において横断勾配が無い方が好ましい状態です。しかし、交通安全の上から、降雨を速やかに路面外に排除するため、横断勾配が必要です。

(2) 曲線部の片勾配

曲線部における片勾配の最大値は、道路の規格・気象条件・交差条件によって、表 - 5 の値とします。

表 - 5 最大片勾配

最大片勾配 (%)	適用条件
10	氷雪の影響を考慮しなくてよい地域で自転車を分離した道路
8	氷雪の影響を考慮する地域で自転車を分離した道路
6	氷雪の影響が著しい地域、都市部

(3) 片勾配のすりつけ

2車線道路の曲線部における片勾配のすりつけは、図 - 5 に示すように車道中心を軸として、そのまわりに車道面を回転させる形で行うのが普通です。

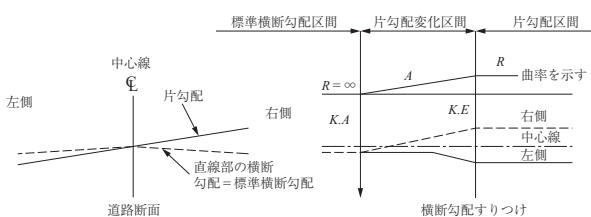


図 - 5 2車線道路の片勾配のすりつけ

4車線道路の曲線部における片勾配のすりつけは、中央分離帯があるため、中央分離帯の中央部で回転させる場合と、上下線分離で回転させる場合があります。

曲線部での片勾配のすりつけは、緩和曲線の全長で行うことを基本としています。緩和曲線を用いない曲線部の片勾配のすりつけ区間長は、設計速度3s走行長とし、その区間は曲線と直線の境界をまたいでそれぞれ1/2ずつ配分します。

片勾配すりつけ区間の車道線の勾配差が道路中心線に対し0.5%以上の場合は、その折曲点に表 - 6 の値程度の縦断曲線を入れるのが理想です。

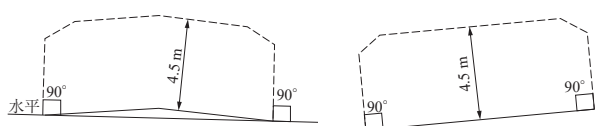
表 - 6 片勾配すりつけ縦断曲線長

設計速度 (km/h)	80	60	40	30	20
縦断曲線長 (m)	15	10	施工時適宜		

(4) 建築限界

建築限界とは道路上で車両や歩行者の交通の安全を確保するため、ある一定の幅・高さの範囲内に障害となるようなものを置いてはいけないという空間確保の限界です。

建築限界の上限線は、路面の形状に平行に確保します。側方限界線は、標準横断勾配部は鉛直、片勾配部は路面に直角にとります。なお、歩道などの側方限界線は、路面形状に関係なく鉛直にとります (図 - 6)。



(a) 標準の横断勾配を有する区間 (b) 片勾配を有する区間

図 - 6 建築限界線

3. 橋梁における線形の留意点

橋梁を計画するうえで道路線形に留意する内容について説明します。

3.1 道路線形を決定する場合の橋梁の位置づけ

道路の線形を決定するためには、交差条件の確定とその交差する構造形式・規模が重要な要素となります。交差構造物が橋梁となる場合、以下のポイントに配慮して道路線形を決定します。

(1) 橋梁の線形

平面線形では、交差する交角をできるだけ直交とする道路線形の検討を実施します。交差構造物の長さが短ければ短い程初期コストは安価となるため、道路のルート選定においても、構造物が小さくなるルートを描出し、比較検討を実施します。

(2) 施工可能な構造物を選定

道路線形だけに着目して交差構造物の計画を実施すると、その後の設計などにおいて、線形からやり直しとなる場合があります。そのため、施工計画までを行い、道路の線形が決定されています。

3.2 拡幅

橋梁の最外縁の車両用防護柵は、壁高欄やビーム型防護柵などがあります。曲線部で車両用防護柵がある場合、視距による拡幅の照査を必要とします。

(1) 視距による拡幅

路上にある高さ0.1mの障害物を1.2mの目の高さから発見して、制動停止する距離を確保します。とくにランプ部など、曲線半径が小さい箇所や近隣に障害物がある場合に拡幅が必要となります (図 - 7)。

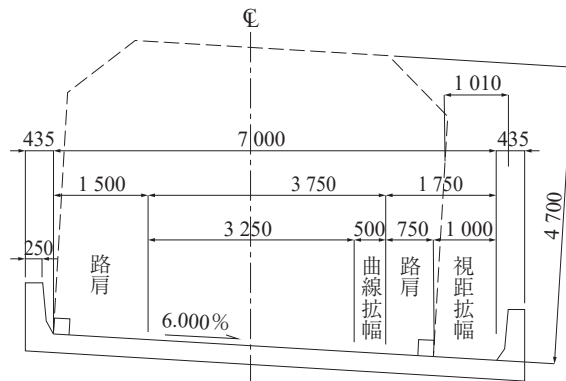


図 - 7 車両用防護柵による視距拡幅の例

図 - 7 の曲線拡幅は、曲線部における自動車の前輪と後輪の内輪差による必要拡幅幅を示しています。視距拡幅は、壁高欄により視距が障害されるため、拡幅が必要となります。

3.3 横断線形

横断線形決定においても、留意が必要な箇所があります。

(1) 建築限界における照査

ランプ部など横断勾配が5%近くなる箇所では、遮音壁や投物防止柵が壁高欄の上部に設置されると、建築限界

と競合することが多くなります。一般に視距拡幅により幅員は広く確保されていますが、壁高欄と投物防止柵や遮音壁は垂直に設置されるため、建築限界の上方で競合することがあります（図 - 8）。

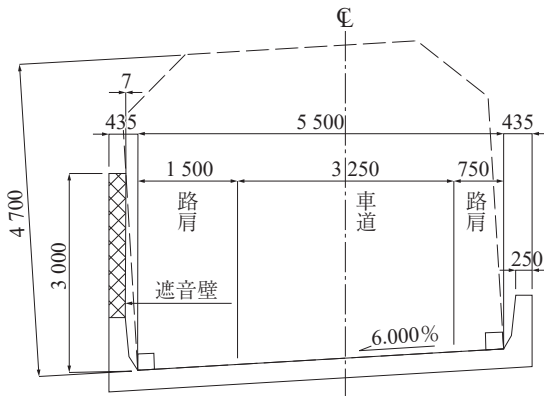


図 - 8 遮音壁と建築限界

(2) 歩車道境界部への対応

橋長 50 m を超える長大橋では、コストの面から路肩を縮小することが可能です。この路肩を縮小した歩車道境界に車両用防護柵を設置する場合、施設帯幅を 500 mm 確保し、その幅のなかに車両用防護柵が設置されます。側方建築限界 250 mm を確保し防護柵を設置するため、防護柵の形状や防護柵基礎への配慮が必要です（図 - 9）。

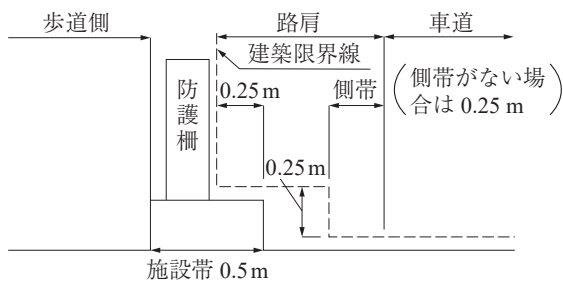


図 - 9 歩車道境界部建築限界

4. 橋梁一般図の読み取り方

橋梁一般図は、橋梁の上部工～下部工～基礎工までの計画を総合的に網羅する図面です。記載内容は、平面図、側面図、横断図、設計条件表、交差条件です。

ここでは、それぞれの項目について、記載内容の読み取り方を説明します。

4.1 平面図

平面図は、橋梁計画のうち平面形状に関する情報を読み取ります。道路の平面線形について、直線区間、曲線区間、クロソイド区間を読み取ります。幅員寸法および幅員の変化位置とその区間長についても読み取れます。

橋梁は、上部工と下部工・基礎工から成り立っています。橋長・支間長・径間割、橋台・橋脚の位置と平面配置（中心線形に対して直角配置か斜角配置か）を読み取ります。

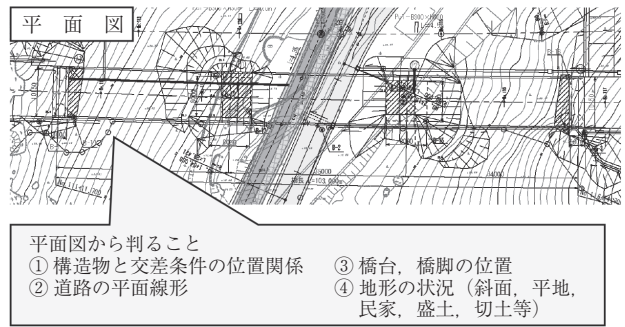


図 - 10 平面図

橋梁の計画されている箇所について、地形の状況（斜面か平地か）近隣に民家や企業などがいないか、橋台背後の道路の形状（盛土か切土か）、橋梁位置とその前後の構造物との関係を読み取ります。また、橋梁（上部工、下部工、基礎工）と交差物との位置関係（近接レベル、交差角度）を平面図にて読み取ります。

4.2 側面図

側面図は、構造物の大きさ（橋梁の長さ、支間割、下部工位置や上部工の位置関係）、現地盤と橋梁との関係や支持層位置と地層構成も読み取ることができます。

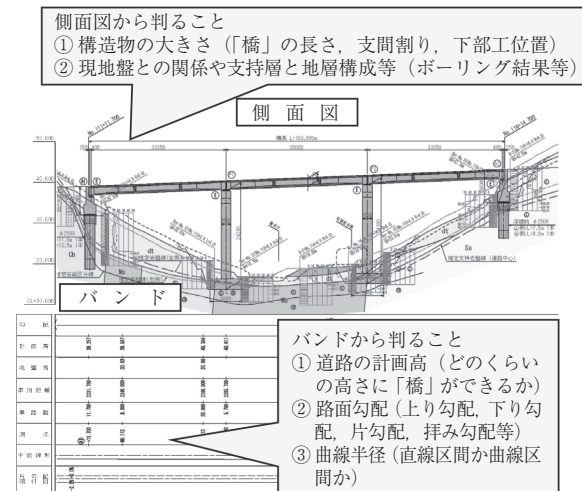


図 - 11 側面図

バンドは、道路の直線区間か曲線区間か（平面線形）、計画高さ（縦断線形）、路面勾配や拡幅量（横断線形）を読み取ることができるため、橋梁の線形を判断するために最も重要な要素です。図 - 12 では、平面図をどのように模式化し、路面勾配のすりつけがどのようにになっているかを説明しています。

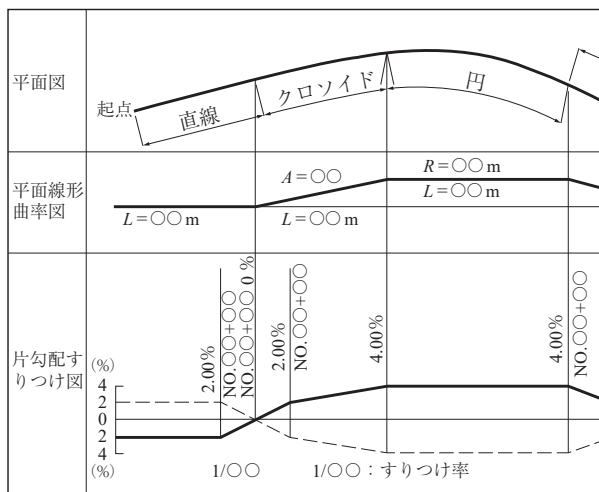


図 - 12 バンド記載内容

4.3 横断図

横断図の基本は、起点側から終点側を見た断面図です。図 - 13 に示しています上部工断面図は、横断図と同じ基準で示されています。下部工正面図は、橋脚においては横断図と同じ基準で示し、橋台においては、橋台の正面から見た図となるため、横断図と同じ基準とはなりません。

上部工断面図からわかることは、上部工の橋梁形式、桁高、主桁本数、主桁間隔、床版厚、舗装構成、幅員や幅員構成などです。

下部工正面図からわかることは、下部工形式、基礎工形式、下部工の高さや幅および各箇所の基本寸法、地盤線と支持層および地層構成と基礎位置の関係などです。

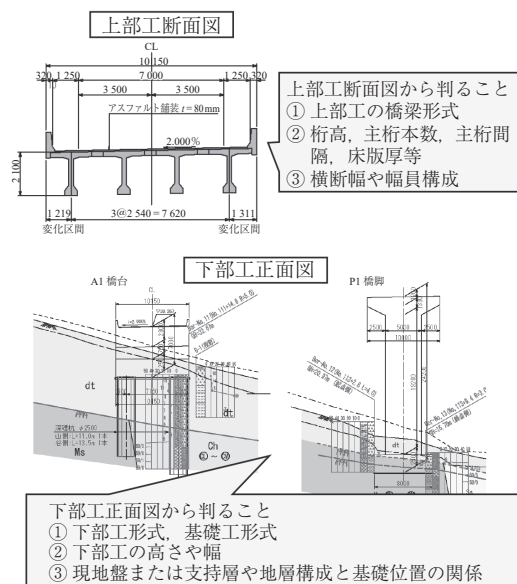


図 - 13 横断図

4.4 設計条件表および交差条件

設計条件表は、橋梁一般図の中で基準類や施工へ引きつぐ最も基本的な情報を示しているものです(表 - 7)。

設計条件からわかることは、道路の基本条件、橋梁の基本条件、上部工・下部工の使用材料、適用した道路橋示方

書などです。

交差条件からわかることは、交差物の幅・高さ、近接する場合に必要な離れ、河川においては流量などです(図 - 14)。

表 - 7 設計条件の例

設計条件		
道路規格	第1種第3級	
設計速度	$V=80$ km/h	
活荷重	B活荷重	
橋長	$L=103.000$ m	
桁長	$L=102.500$ m	
支間長	33.350 m + 35.000 m + 33.350 m	
有効幅員	1.250 m + $2@3.500$ m + 1.250 m	
斜角	$\theta = 90^\circ 00' 00''$	
平面線形	$A=1000$	
横断勾配	$i=2.000\%$	
縦断勾配	$i=3.983\%$	
設計水平震度	レベル I : $kh=0.14$ (I種地盤)	
上部工	形式	PC3径間連結少主桁橋(ポステンションT桁)
	コンクリート	$\sigma_{ck} = 50$ N/mm ²
	鉄筋	SD345
下部工	形式	逆T式橋台, 張出式橋脚
	コンクリート	$\sigma_{ck} = 24$ N/mm ²
	鉄筋	SD345
	基礎形式	A1, A2: 深礎杭($\phi 2.5$ m) P1, P2: 直接基礎
	適用示方書	道路橋示方書・同解説I~V(平成14年3月)

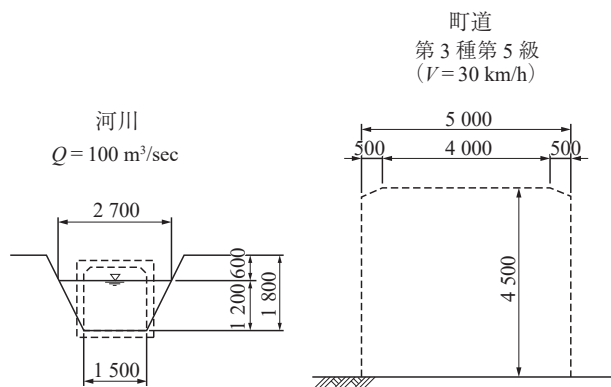


図 - 14 交差条件の例

5. おわりに

以上、道路線形の基礎として説明してきましたが、道路は、線形基準を満足することでその機能を満たします。橋梁は道路の一部であり、道路と同様に線形の基準値を満足することは基本です。

橋梁を計画・設計・施工・維持管理する技術者として、道路の安全性や橋梁の品質を確保するための基礎知識として、道路線形は必要な技術と認識していただき、今後の技術向上の一助になれば幸いです。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用
- 2) American Association of State Highway Official

[2018年7月3日受付]