

# 交差点の信号遅れを考慮した 立体交差点が成立可能となる交通条件の分析

真岩 優多<sup>1</sup>・下川 澄雄<sup>2</sup>・吉岡 慶祐<sup>3</sup>・山川 英一<sup>4</sup>・藤間 翔太<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8)

E-mail: yt-maiwa@yachiyo-eng.co.jp (Corresponding Author)

<sup>2</sup>正会員 日本大学教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: shimokawa.sumio@nihon-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 日本大学助教 理工学部交通システム工学科 (同上)

E-mail: yoshioka.keisuke@nihon-u.ac.jp

<sup>4</sup>非会員 株式会社アイブラン (〒810-0014 福岡県福岡市中央区平尾2-15-26)

E-mail: ei-yamakawa@yachiyo-eng.co.jp

<sup>5</sup>正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8)

E-mail: sh-toma@yachiyo-eng.co.jp

わが国では、通行機能が期待される多車線道路相互が接続する交差点において平面交差で処理されている場合も少なくない。信号交差点を立体交差点に改築することは信号による遅れを無くすことになり、高い潜在的性能を確保するとともに、交通量レベルの少ない道路においても一定の便益が期待される。

本研究では、信号交差点の制御遅れに着目し、平面交差点を立体交差点に改築する場合の時間便益と事業費、維持管理費との比較の中で立体交差が成立可能となる交通条件を明らかにした。

その結果、立体交差が成立可能となる交通量レベルは決して高くはなく、ピーク時交通量が自由流状態でも立体交差化は可能であることが明らかになった。また、この交通量レベルを満たす平面交差点は全国において数多く存在することが確認された。

**Key Words :** *grade-separated intersection, signalized intersection, delay, cost benefit analysis*

## 1. はじめに

わが国の道路ネットワークは、旅行速度が 80km/h 程度の高速道路と 30~40km/h 程度の一般道路に 2 極化しており、その間となる旅行速度 50~60km/h 程度の中間速度層が欠落している<sup>1)</sup>。このことで、拠点間の移動の円滑性を著しく低下させている。

これに対して、一般道路の旅行速度を改善させ円滑で快適な道路交通を実現するためには、多層な道路ネットワークを構築し、各階層同士を接続するルールを明確に定める必要がある。特に、階層の高い道路と接続を行う際には、主要交差点を立体化するなど交差点での遅れ時間を極力低減させる必要がある<sup>2)</sup>。

一方、道路構造令<sup>3)</sup>第 28 条によると、「車線数の数が 4 以上である普通道路が相互に交差する場合においては、当該交差の方式は立体交差とする」としている。しかし、現状では高い通行機能が期待される多車線道路相

互が接続する交差点においても平面交差で処理されている場合も少なくない。また、信号交差点の改良は多くの場合、その判断が交通渋滞による時間損失に基づいて行われ、信号交差点での制御遅れ時間（以降、「信号遅れ」という）を考慮した検討がなされていない。信号遅れは、道路のもつ潜在的性能に関与する。特に、信号交差点を立体交差点に改築することは信号遅れを無くすことになり、高い潜在的性能を確保するとともに通行機能が期待されるものの交通量レベルの少ない道路でも一定の便益が期待され、立体交差とする方が有利となる場合も想定される。

そこで本研究では、信号遅れに着目し、平面交差点と立体交差点による総遅れ時間の差分（走行台時差）から得られる立体交差化による時間便益に対して、既存の平面交差点から立体交差点に改築する場合のそれぞれの事業費、維持管理費との比較の中で立体交差点として成立可能となる交通条件を明らかにすることを目的とする。

## 2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

幹線道路では高い通行機能が求められているものの、信号交差点によって道路のサービスの質を低下させているのが現状である。道路構造令の解説と運用<sup>3)</sup>によると、信号によって処理できる場合においても道路の規格や道路網の構成などから、立体交差が望ましい場合は立体交差にする必要があるとされている。通行機能を重視する道路では、沿道出入り交通との交錯による本線のサービス速度の低下を招かないためにも主要交差点の立体化を行い、旅行速度を向上させる必要がある。

旅行速度は道路構造など種々の要因に影響を受ける。橋本ら<sup>4)</sup>や内海ら<sup>5)</sup>は都市・拠点を連絡する道路を対象とし、旅行速度に影響を与える道路構造条件等を数量化I類により分析を行っている。いずれも道路交通センサスデータを用いたものであるが、信号交差点密度が旅行速度と最も関係が深いことを明らかにしている。また、栗林ら<sup>6)</sup>は旅行速度の変動と道路構造等との関わりに着目し、プローブデータを用いた分析を行っている。このなかでも信号交差点密度は旅行速度の変動に影響を与える要因としてあげている。さらに、下川ら<sup>7)</sup>は2010年度道路交通センサスデータを用い、旅行速度が50km/h以上を実現している区間の道路構造等の共通条件を示している。この中で、旅行速度50km/hを実現する信号交差点密度は交通量とともに表現され、代表交差点の青時間比は60%以上、さらに交通量が800pcu/車線・hを超える区間では出入制限が不可欠であるとしている。このように、旅行速度と信号交差点との間には密接な関係があるが、これは信号遅れによるものである。

信号遅れの大きさはWebsterの実験式<sup>8)</sup>や交通シミュレーションなどを用いて計算すると旅行速度に大きく関与することがわかる。これに対し、後藤・中村<sup>9)</sup>のように階層の異なる道路の接続方式を検討する際に交差点部の遅れを考慮した研究例もみられる。しかし、実際の道路計画・設計において信号遅れを考慮した研究例は少なく「機能階層型道路ネットワークのためのガイドライン(案)<sup>2)</sup>」においても、このような観点に対する重要性を指摘することとまっている。

これらを踏まえれば、通行機能が期待される道路における旅行速度の改善には信号遅れを解消する信号交差点の立体化が有効であり、どの程度の交通条件をもつ交差点において立体交差化が成立可能となるのかを明らかにすることは極めて重要となる。そこで本研究では、自由流領域における信号遅れに着目し、立体交差点として成立可能となる交通条件を明らかにすることで道路の機能に応じたネットワークへの再編、とりわけ高い通行機能が期待される道路の機能強化を図るための有効な選択肢の一つとなることが期待される。

## 3. 研究方法および前提条件の設定

### (1) 検討を行う際に想定したケース

既存の平面交差点において立体交差点への改築が成立可能となる交通条件を算出する際には、種々の要因を考慮する必要がある。具体的には都市部や地方部による地域特性、立体交差の構造として4車線立体と2車線立体があげられ、立体交差化に必要な工事費および維持管理費、用地面積はそれぞれのケースごとに異なる。

そこで本研究では、表-1に示すとおり、単路部4車線の平面交差点から立体交差点に改築する場合において、都市部(第4種)・地方部(第3種)、立体交差の構造(4車線立体・2車線立体)を組み合わせた計4ケースで評価を行う。

### (2) 便益および費用の算出方法

仮想ネットワークにおいて、同じ交通条件にある平面交差点と立体交差点を通過する走行台時の差分(信号遅れ時間差)に時間価値原単位を乗じ立体交差化による便益額を算出する。

さらに、道路構造令の規定値を用いて作成した平面図および縦断図・横断図をもとに、平面交差点を立体交差点に改築するための事業費(工事費および用地費)、維持管理費を算出する。その際、立体交差点として改築する場合は既存の平面交差の撤去費や新たに必要とする用地費も計上している。また、維持管理費には舗装等の修繕費も考慮する。

なお、本研究では、時間便益と事業費および維持管理費から費用便益比(以降、「B/C」という)を算出しB/Cが1.0を超える交通量を立体交差点への改築が成立可能となる交通条件と定義する。

### (3) 交通シミュレーションのための前提条件の設定

#### a) 4車線立体の場合

4車線立体について本研究で適用した道路構造の諸元を表-2に、信号制御の設定を表-3に、工事費および維持管理費、用地面積を表-4に示した。また、道路構造令の各種諸元に基づき作成した地方部(第3種)の平面図、縦断図を図-1に示す。本研究では、通行機能の高い道路を想定しており、主道路は都市部を第4種第1級、地方部を第3種第1級とし、従道路はそれぞれ第4種第2級、第3種第2級とした。立体交差に改築する前の平

表-1 本研究での検討ケース

	第4種(都市部)	第3種(地方部)
4車線立体	[1]	[2]
2車線立体	[3]	[4]

面交差点の車線運用は主道路、従道路とも外側車線から順に「左折直進車線」、「直進車線」、「右折車線」とした。立体交差の改築は半立体構造とし、主道路は本線片側2車線に連結側道（左折直進車線および右折車線）を設置したオーバークロス形式である。道路の横断面構成および設計速度は、種級区分に応じて道路構造令の解説と運用<sup>3)</sup>の標準値を用いた（表-2）。

信号制御の設定は主道路、従道路ともに右折専用現示を設けており、サイクル長は式(1)を用いて最適サイクル長<sup>10)</sup>を算出する。クリアランス損失時間（黄時間と全赤時間の和）は、平面交差点に対して立体交差点を長く設定した。これは、立体交差の方が交差点の通過に必要な交差点距離（クリアランス距離）が平面交差より長くなることによる通過時間を考慮したものである（表-3）。

$$C_{op} = \frac{1.5L + 5}{1 - \lambda} \quad (1)$$

ここに、 $C_{op}$ ：最適サイクル長[秒]、 $L$ ：1 サイクルあたりの損失時間[秒]、 $\lambda$ ：交差点の需要率である。

表-2 道路構造の諸元（4車線立体）

4車線立体		第4種（都市部）		第3種（地方部）	
		平面交差	立体交差	平面交差	立体交差
種級区分	主道路	第4種第1級		第3種第1級	
	従道路	第4種第2級		第3種第2級	
地形		—		平地部	
車線幅員（左直）（m）	主道路	3.25		3.50	
	従道路	3.00		3.25	
車線幅員（右）（m）	主道路	3.00			
	従道路	3.00			
中央分離帯（m）※主道路のみ設置		1.00		1.75	
設計速度（km/h）	主道路	60		60	80
	従道路	50		60	
分合流部すりつけ長（m）		—	100	—	165
縦断勾配（%）		—	5.0	—	4.0

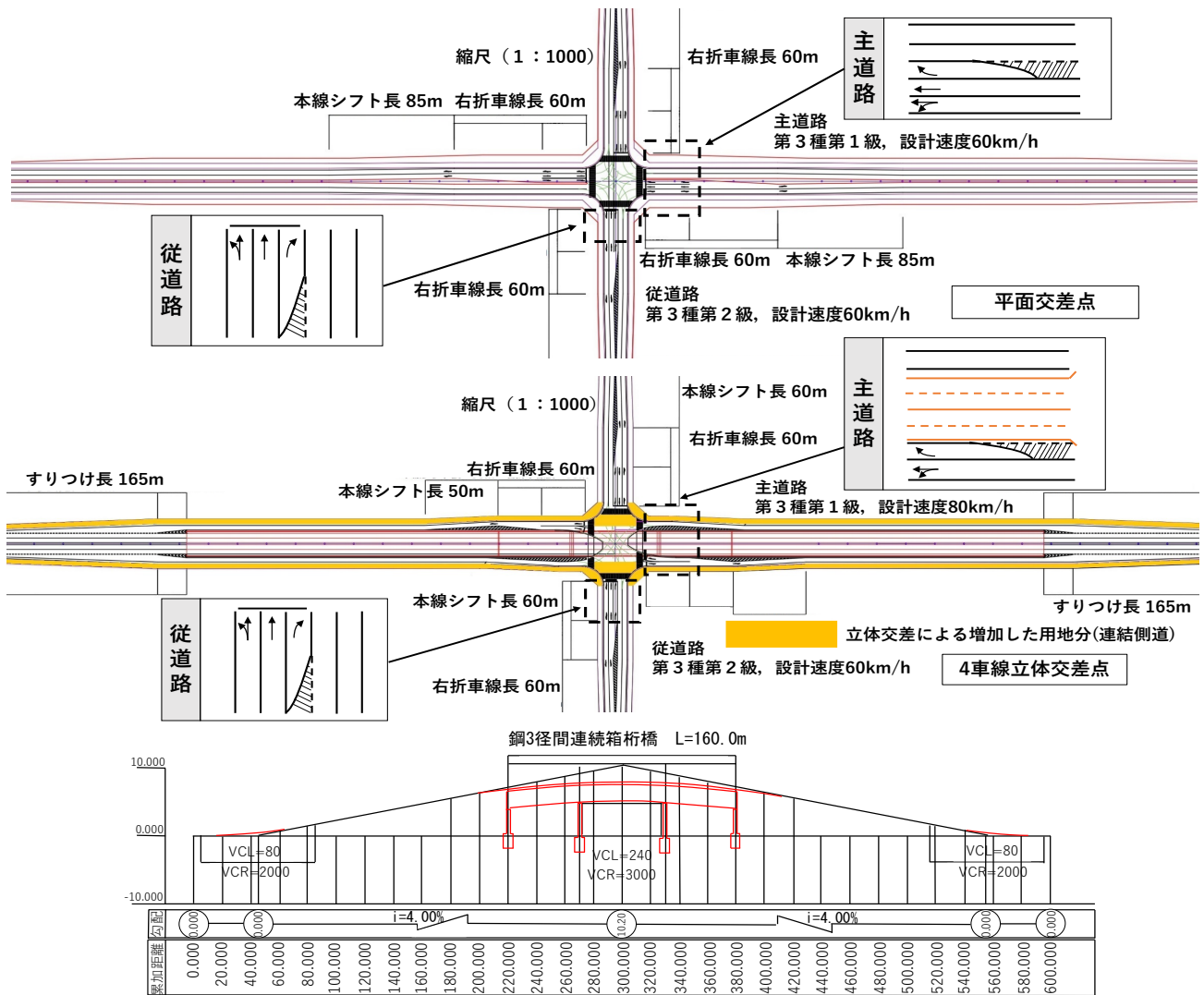


図-1 平面交差点の平面図および4車線立体交差点の平面図・縦断図（第3種）

表-3 信号制御の設定 (4車線立体)

4車線立体	第4種(都市部)		第3種(地方部)		
	平面交差	立体交差	平面交差	立体交差	
現示数	4現示(右折矢専用現示あり)				
クリアランス損失 (秒) 黄(4φ)+全赤(2φ)	黄	3	4	4	4
	全赤	3	3	2	3
	合計	18	22	20	22
信号サイクル長の設定	最適サイクル長				
最小青時間(秒)	15秒(右折矢:5秒)				

表-4 工事費および維持管理費・用地面積 (4車線立体)

4車線立体	第4種(都市部)		第3種(地方部)	
	平面交差	立体交差	平面交差	立体交差
用地面積 (m <sup>2</sup> )	102,885	109,936	111,900	121,976
	立体-平面	7,051	10,076	
工事費 (百万円)	1 道路費	507	720	
	2 舗装費	283	513	
	3 橋梁費	751	954	
	4 撤去費	83	158	
合計	1,624	2,345		
維持管理費(百万円)	2.48	2.72		

※) 舗装費: 立体交差(高架部)は橋梁費に計上しており舗装費には含まれていない  
 ※) 用地補償費は含まれていない

事業費は工事費に用地費を加えたものであり、工事費は道路費や舗装費、橋梁費、さらに平面交差点の撤去費を含む費用とし、国土交通省が発出している「土木工事数量算出要領(案)11)」で示された算出方法に基づき数量計算を行い、その値に「令和2年度版 土木工事積算標準単価12)」で都道府県別に示された施工条件ごとの施工単位あたりの単価を参照に、北関東3県の平均価格から算出した。なお、単価を算出する際に本研究では積雪寒冷地を除く普通道路を対象とした。

修繕費を含む維持管理費は、国土交通省が発出した「道路IRサイト個別道路事業の評価 新規事業採択時評価および再評価13)」を参照し、過去5年間のキロ単位あたりの維持管理費原単位の中で上限値となる値を採用し設計区間長に乗じて算出した。

用地面積は標準的な構造である平面交差点および立体交差点を想定してそれぞれ求めた値である(表-4)。用地面積は第4種では7,100m<sup>2</sup>、第3種では10,100m<sup>2</sup>が新たに必要となる。これは、立体交差の場合、分合流部のすりつけ長が長くなり、主道路の連結側道の分だけ用地が増加するためである(図-1の黄色付き部分)。

b) 2車線立体の場合

2車線立体について、本研究で適用した道路構造の諸元を表-5に、信号制御の設定を表-6に、工事費および維持管理費、用地面積を表-7に示した。また、地方部(第3種)の平面図、縦断図を図-2に示す。地方部の主道路は立体交差においても第3種第2級とした。これは第3種第1級が2車線道路には適用されないためである(表-5)。また、2車線立体における構造形式や平面交

表-5 道路構造の諸元 (2車線立体)

2車線立体	第4種(都市部)		第3種(地方部)	
	平面交差	立体交差	平面交差	立体交差
種級区分	主道路	第4種第1級	第3種第2級	
	従道路	第4種第2級	第3種第2級	
地形	—		平地部	
車線幅員 (左直)(m)	主道路	3.25	3.25	
	従道路	3.00	3.25	
車線幅員 (右)(m)	主道路	3.00		
	従道路	3.00		
中央分離帯(m) ※主道路のみ設置	1.00		1.75	
設計速度 (km/h)	主道路	60	60	60
	従道路	50	60	
分合流部本線シフト長(m)	—	85	—	90
縦断勾配(%)	—	5.0	—	4.0

表-6 信号制御の設定 (2車線立体)

2車線立体	第4種(都市部)		第3種(地方部)	
	平面交差	立体交差	平面交差	立体交差
現示数	4現示(右折矢専用現示あり)			
クリアランス損失 (秒) 黄(4φ)+全赤(2φ)	黄	3	4	4
	全赤	3	2	2
	合計	18	20	20
信号サイクル長の設定	最適サイクル長			
最小青時間(秒)	15秒(右折矢:5秒)			

表-7 工事費および維持管理費・用地面積 (2車線立体)

2車線立体	第4種(都市部)		第3種(地方部)	
	平面交差	立体交差	平面交差	立体交差
用地面積 (m <sup>2</sup> )	102,885	108,589	111,900	118,191
	立体-平面	5,704	6,291	
工事費 (百万円)	1 道路費	503	655	
	2 舗装費	354	519	
	3 橋梁費	656	722	
	4 撤去費	85	120	
合計	1,598	2,016		
維持管理費(百万円)	2.30	2.50		

※) 舗装費: 立体交差(高架部)は橋梁費に計上しており舗装費には含まれていない  
 ※) 用地補償費は含まれていない

差点の車線運用は4車線立体と同様であるが、立体交差の主道路は片側直進1車線に連結側道(左折直進車線および右折車線)を設置している。

信号制御の設定は、クリアランス損失時間を4車線立体に対し2車線立体は短く設定した。これは、交差点の通過に必要な交差点距離が2車線立体の方が短くなることを考慮したものである(表-6)。

工事費は立体交差化に伴い第4種では16.0億円、第3種では20.2億円が必要となる。なお、舗装費は4車線立体よりも2車線立体の方が上回っている。これは、立体交差点については橋梁費に計上しており、すりつけ長が

2車線立体の方が長くなるためである。また、用地面積は第4種では5,700m<sup>2</sup>、第3種では6,300m<sup>2</sup>が新たに必要となるが、4車線立体に対して2車線立体に必要な用地は第4種は約30%、第3種は約40%少なく抑えられている(表-7)。

ベルである。そのため、本研究で扱う交通量レベルは渋滞を招くものではなく、このことはシミュレーションでも確認している。

#### 4. 立体交差化が成立可能となる交通条件

##### (1) 平面交差点と立体交差点による走行台時の算出

##### a) 交通およびシミュレーション条件

交通およびシミュレーション条件を表-8に示した。交通需要は自由流状態を想定し、主道路、従道路をともに一方2車線あたり500~1,400pcu/hの10ケース、右折・左折交通量をこの内数としてそれぞれ80pcu/h・100pcu/h・120pcu/hの3ケース、合計300ケースのOD表を作成し、シミュレーションを実行した。なお、いずれのケースも赤信号表示終了時に滞留していた車両が次の赤信号表示開始時までには交差点を通過できる交通需要レ

表-8 交通およびシミュレーション条件

交通状態	自由流状態 (交通渋滞が発生しない)
交差点飽和度	0.9未満
車種	乗用車
ピーク時交通量	500~1,400pcu/h【10ケース】
右左折交通量	80・100・120pcu/h【3ケース】
交通シミュレータ	AVENUE (株)アイ・トランスポート社製
SIM時間	3時間
SIM回数	5回(平均値を用いる)
リンク長の設定	4km(交差点から2km/方向)
リンク速度(第4種)	4車線立体(平面60km/h 立体60km/h)
	2車線立体(平面60km/h 立体60km/h)
リンク速度(第3種)	4車線立体(平面60km/h 立体70km/h)
	2車線立体(平面60km/h 立体60km/h)
出力するデータ	リンク別旅行時間(秒)
飽和交通流率(pcu/有効青時間)	直進: 2,000 右左折: 1,800

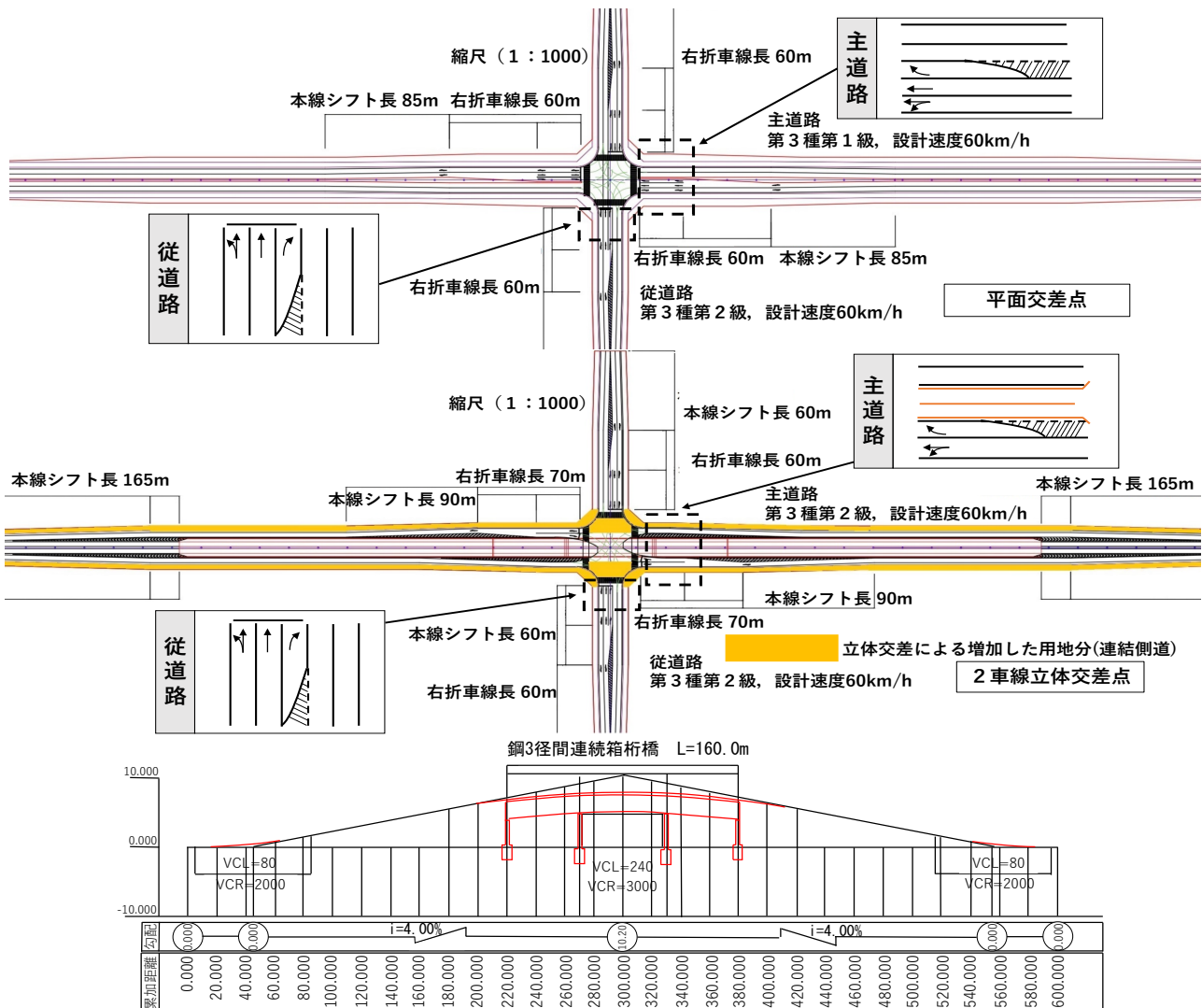


図-2 平面交差点の平面図および2車線立体交差点の平面図・縦断面図(第3種)

評価区間は交差点をはさみ 4.0km（上流・下流に各 2km）とした。なお、交通シミュレータは AVENUE（株）アイ・トランスポート社製）を用いた。

シミュレーションのリンク速度は、第 3 種では 4 車線立体の主道路において近年の規制速度引き上げの動向を踏まえ、警視庁が通達した「交通規制基準<sup>14)</sup>」に基づき 70km/h とし、他のケースは設計速度と同じ 60km/h とした。信号交差点の飽和交通流率は直進車線 2,000pcu/青 1 時間、右折車線 1,800pcu/青 1 時間とした。

### b) 平面交差点と立体交差点における走行台時の算出

交通シミュレーションにより出力された車両個々の旅行時間より平面交差点と立体交差点における交通条件別の走行台時を求めた。この値の差分が立体交差化による信号遅れ時間の差となる。

表-9 は、主道路、従道路ともに 1,400pcu/h、右左折 80pcu/h の場合のサイクル長と有効青時間比を例として示した。これによれば、平面交差に対し立体交差の場合はサイクル長が 45%程度減少する。また、従道路の有効青時間が 30%に対し主道路の立体交差にともない従道路の有効青時間比が 60%を超える。これは、信号の優先権が従道路に変化するためであり、立体交差化は従道路の遅れ時間の減少にも寄与することが期待される。

図-3 は第 4 種、図-4 は第 3 種において主道路、従道路ともに 1,400pcu/h、右左折 80pcu/h の場合の立体交差点と平面交差点の走行台時およびその内訳を示している。第 3 種の場合、走行台時は平面交差に対し 4 車線立体にすると 35%、2 車線立体にすると 32%と交差点全体で約 3 割減少している。方向別でみると主道路の直進はもちろんであるが、従道路の直進も平面交差点に対して 4 車線立体、2 車線立体ともに約 25%減少している。このことから、立体交差化は立体化される主道路だけではなく、従道路の交通においても遅れ時間の短縮というメリットを受けることとなる。

## (2) 立体交差化が成立可能となる交通条件の試算

### a) 算出にあたっての前提

1 日あたりの時間便益を算出するために、(1)において算出した走行台時に対し、ピーク率を用いて日換算する。本研究ではピーク率を道路交通センサスなどの値を参考に第 4 種を 9%、第 3 種を 12%に設定した。さらに、国土交通省の費用便益分析マニュアル<sup>15)</sup>をもとに時間価値原単位は乗用車を 39.60 円/分・台、社会的割引率を 4%、評価対象期間を 50 年として B/C を算出した。その際、用地単価は表-10 に示す北関東 3 県の県庁所在都市における地価公示の平均価格（2019 年）<sup>15)</sup>を参考に、第 4 種は 60 千円/m<sup>2</sup>、第 3 種は 40 千円/m<sup>2</sup>とした。なお、ここでは第 4 種を人口集中地域（DID）、第 3 種を準住居地域とした。また、維持管理費は各年計上した。

### b) 立体交差点への改築が成立可能な交通条件の試算

立体交差点に改築した場合の B/C を、第 4 種の 4 車線立体を表-11 に、第 3 種の 4 車線立体を表-12 に、第 4 種

表-9 信号のサイクル長と有効青時間比

主道路、従道路：1,400pcu/h 右左折：80pcu/h

サイクル長（秒）	平面交差			
	第4種	140	82	77
	第3種	154	82	77
主道路有効青時間（%）	第4種	42.6	22.5	22.8
	第3種	41.9	(右左折)	(右左折)
従道路有効青時間（%）	第4種	42.6	60.7	61.2
	第3種	41.9	(全方向)	(全方向)

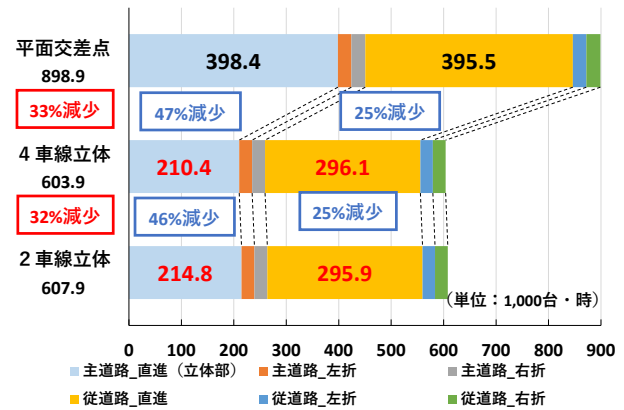


図-3 平面交差点と立体交差点の走行台時（第 4 種）

主道路、従道路：1,400pcu/h 右左折：80pcu/h

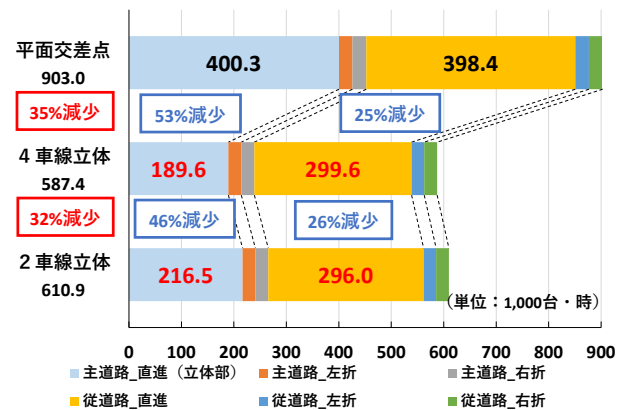


図-4 平面交差点と立体交差点の走行台時（第 3 種）

主道路、従道路：1,400pcu/h 右左折：80pcu/h

表-10 北関東 3 県の県庁所在地における地価公示の平均価格（2019 年）（円/m<sup>2</sup>）

用途地域	北関東 3 県	平均土地価格（円/m <sup>2</sup> ）
DID 地区（第 4 種）	茨城県・水戸市	¥39,700
	栃木県・宇都宮市	¥60,800
	群馬県・前橋市	¥51,300
DID 除く準住居地域（第 3 種）	茨城県・水戸市	¥34,500
	栃木県・宇都宮市	¥45,600
	群馬県・前橋市	¥42,300

の2車線立体を表-13に、第3種の2車線立体を表-14に示す。なお、ここで示した表は右左折交通量 80pcu/h・方向としたものである。

これによれば、第4種において主道路では4車線立体、2車線立体ともに主道路は一方向2車線あたり1,200pcu/h、従道路は一方向2車線あたり700~800pcu/h・方向を上回る条件が立体交差点が成立可能となる目安となる。これに対し第3種において主道路では一方向2車線あたり1,200~1,300pcu/h、従道路は一方向2車線あたり800pcu/hを上回る条件が目安となる。このことから、いずれも立体交差点が成立可能となる交通量レベルは主道路、従道路ともに高くなく、自由流領域の交通量レベルの道路でも十分に成立可能となる。

なお、第4種の場合、4車線立体および2車線立体ともに立体交差点が成立可能となる交通条件の閾値に大きな違いはみられない。これは、遅れ時間による差分から得られる時間便益や事業費に大きな違いはみられないためである。一方で、第3種は第4種と比べて事業費が割高となる。これに対して、4車線立体はサービス速度を70km/hと想定しているためこれらと同様の閾値となるが、サービス速度が60km/hの2車線立体の場合は時間便益に対して事業費が高いため、閾値は高い値となっている。

表-11 立体交差点に“改築”したB/C (4車線立体・第4種)  
右左折交通量：80pcu/h・方向

ピーク時 交通量 pcu/h/方向・ 2車線あたり	従道路										
	500	600	700	800	900	1,000	1,100	1,200	1,300	1,400	
主道路	500	0.19	—	—	—	—	—	—	—	—	
	600	0.21	0.25	—	—	—	—	—	—	—	
	700	0.25	0.28	0.32	—	—	—	—	—	—	
	800	0.32	0.35	0.39	0.42	—	—	—	—	—	
	900	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	—	—	—	—	
	1,000	0.47	0.51	0.54	0.58	0.61	0.68	—	—	—	
	1,100	0.62	0.65	0.68	0.72	0.75	0.79	0.82	—	—	
	1,200	0.82	0.86	0.89	0.92	0.96	0.99	<b>1.03</b>	<b>1.06</b>	—	—
	1,300	0.85	0.88	0.92	0.97	<b>1.03</b>	<b>1.15</b>	<b>1.24</b>	<b>1.33</b>	<b>1.42</b>	—
	1,400	0.88	0.92	0.97	<b>1.03</b>	<b>1.15</b>	<b>1.24</b>	<b>1.33</b>	<b>1.42</b>	<b>1.53</b>	<b>1.67</b>

表-12 立体交差点に“改築”したB/C (4車線立体・第3種)  
右左折交通量：80pcu/h・方向

ピーク時 交通量 pcu/h/方向・ 2車線あたり	従道路										
	500	600	700	800	900	1,000	1,100	1,200	1,300	1,400	
主道路	500	0.19	—	—	—	—	—	—	—	—	
	600	0.21	0.25	—	—	—	—	—	—	—	
	700	0.25	0.27	0.31	—	—	—	—	—	—	
	800	0.31	0.34	0.38	0.41	—	—	—	—	—	
	900	0.37	0.40	0.43	0.47	0.50	—	—	—	—	
	1,000	0.46	0.50	0.53	0.57	0.60	0.67	—	—	—	
	1,100	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74	0.77	0.80	—	—	
	1,200	0.80	0.84	0.87	0.90	0.94	0.97	<b>1.01</b>	<b>1.04</b>	—	—
	1,300	0.83	0.86	0.90	0.95	<b>1.01</b>	<b>1.13</b>	<b>1.22</b>	<b>1.30</b>	<b>1.39</b>	—
	1,400	0.86	0.90	0.95	<b>1.01</b>	<b>1.13</b>	<b>1.22</b>	<b>1.30</b>	<b>1.39</b>	<b>1.50</b>	<b>1.64</b>

(3) 立体交差化が成立可能となる閾値（一般化）

表-15は立体交差点への改築する場合に関し、種々の交通条件において算出された便益の値を用いて重回帰分析を行った結果と、工事費に用地単価を変数として与えた事業費を示した。便益の算出にあたり説明変数は主道路全交通量、従道路全交通量、主道路右左折率、従道路右左折率としており、従道路の右左折率に関しては有意な変数ではないため除去し一般化を行った。さらに、図-5はこれをもとに第3種を対象として立体交差点が成立可能となる交通条件 (B/C $\geq$ 1.0)を示した。この図は用地費を40,000円/m<sup>2</sup>とした例であるが、右左折率を10%および15%に固定し、主道路と従道路の交通量との関係で表現している。このように立体交差点が成立可能となる閾値を簡便に求めることができる。

これによれば、右左折率が高いほど主道路と従道路の交通量が高く見積もられる。これは、右左折交通量が主道路・従道路交通量の内数として表現されているためである。交差点の右左折率が10%から15%になると立体交差が成立可能となる交通条件は約300pcu/h・方向多く必要となる。また、交差点の右左折率15%で固定した場合、第4種に対し第3種では約200pcu/h・方向多く必要となる。しかし、立体交差化が成立可能となる交通量のレベルは高くない。

表-13 立体交差点に“改築”したB/C (2車線立体・第4種)  
右左折交通量：80pcu/h・方向

ピーク時 交通量 pcu/h/方向・ 2車線あたり	従道路										
	500	600	700	800	900	1,000	1,100	1,200	1,300	1,400	
主道路	500	0.17	—	—	—	—	—	—	—	—	
	600	0.19	0.22	—	—	—	—	—	—	—	
	700	0.23	0.26	0.29	—	—	—	—	—	—	
	800	0.29	0.32	0.35	0.39	—	—	—	—	—	
	900	0.35	0.38	0.41	0.44	0.47	—	—	—	—	
	1,000	0.44	0.47	0.50	0.52	0.55	0.59	—	—	—	
	1,100	0.56	0.59	0.62	0.65	0.68	0.72	0.75	—	—	
	1,200	0.66	0.69	0.72	0.75	0.83	0.91	0.99	<b>1.06</b>	—	—
	1,300	0.77	0.81	0.84	0.89	0.94	<b>1.05</b>	<b>1.13</b>	<b>1.21</b>	<b>1.30</b>	—
	1,400	0.85	0.95	<b>1.05</b>	<b>1.15</b>	<b>1.25</b>	<b>1.35</b>	<b>1.45</b>	<b>1.53</b>	<b>1.63</b>	<b>1.74</b>

表-14 立体交差点に“改築”したB/C (2車線立体・第3種)  
右左折交通量：80pcu/h・方向

ピーク時 交通量 pcu/h/方向・ 2車線あたり	従道路										
	500	600	700	800	900	1,000	1,100	1,200	1,300	1,400	
主道路	500	0.16	—	—	—	—	—	—	—	—	
	600	0.18	0.21	—	—	—	—	—	—	—	
	700	0.21	0.24	0.26	—	—	—	—	—	—	
	800	0.26	0.29	0.32	0.34	—	—	—	—	—	
	900	0.31	0.34	0.36	0.39	0.42	—	—	—	—	
	1,000	0.39	0.42	0.45	0.47	0.50	0.53	—	—	—	
	1,100	0.51	0.53	0.56	0.59	0.62	0.70	0.77	—	—	
	1,200	0.60	0.62	0.65	0.70	0.73	0.80	0.88	0.94	—	—
	1,300	0.70	0.72	0.74	0.79	0.83	0.93	<b>1.00</b>	<b>1.08</b>	<b>1.15</b>	—
	1,400	0.74	0.83	0.91	<b>1.00</b>	<b>1.09</b>	<b>1.18</b>	<b>1.25</b>	<b>1.34</b>	<b>1.43</b>	<b>1.51</b>

## 5. 交通条件に着目した立体交差への改築が有効な信号交差点の抽出

4.で示した交通条件を満たす信号交差点が国内にどの程度存在するのか試算を行った。本研究では、都市部を除く地方部となる第3種第1級相互、第3種第1級と第2級・第3級、第3種第2級相互の多車線同士の交差点を対象とし、2015年度道路交通センサデータ<sup>17)</sup>に示されている道路の種類、沿道条件、車線幅員から種級区分を想定した。

図-6 は対象として選定された多車線道路相互の交差点の割合を種級区分別に示している。これによれば、第3種第1級と接続する交差点の割合が概ね6~7割を占めており、道路の幾何構造からみると高い速度サービスの確保の必要性が認められる。

次に図-6 から表-12 に示した交通条件の中で B/C が1.0 を上回る主方向と従方向の交通条件を閾値とし、この値を超える交差点を立体交差への改築が有効な箇所として抽出した。図-7 はこの結果を地方整備局別に示している。多車線道路相互の交差点のうち、平面交差点は

7~8 割程度存在するが、立体交差化が有効な交差点はこれらの 4~7 割となり、現状で立体交差化がなされている交差点の 1.5 倍にのぼることが確認された。このように信号遅れを加味すれば、費用対効果の観点から立体交差化が成立可能な交通条件を満たす平面交差点は非常に多く存在していると考えられる。

## 6. おわりに

平面交差点から立体交差点への改築にあたり、信号遅れを考慮すればその成立可能となる交通条件は、4車線立体と2車線立体いずれも交通レベルは高くなく、ピーク時交通量が自由流状態でも立体化は十分に適用可能であることが確認された。特に、2車線立体の場合、4車線立体と比べて道路空間占有率が小さく、沿道の市街化にともなう用地取得の困難、事業費の問題から4車線立体が困難な箇所でも、比較的容易に導入することが期待される。

このことから、立体交差点は交通容量の確保という点もさることながら日常交通の速度サービスを確保するためのリーズナブルな手段であることが明らかになった。

表-15 立体交差への改築した時間便益と費用

一般化	便益 (百万円)	4車線立体	第4種	$y=1.7x_1-4.9 \times 10^1 x_2+1.2x_3+1.1$ (重決定係数 $R^2=0.77$ )
				第3種
		2車線立体	第4種	$y=1.1x_1-4.8 \times 10^1 x_2+1.2x_3+1.0$ (重決定係数 $R^2=0.76$ )
			第3種	$y=1.1x_1-4.9 \times 10^1 x_2+1.3x_3+1.4$ (重決定係数 $R^2=0.78$ )
	費用 (百万円)	4車線立体	第4種	$y=7.051x_1+1.627^{**}$
			第3種	$y=10.076x_1+2.348^{**}$
		2車線立体	第4種	$y=5.704x_1+1.601^{**}$
			第3種	$y=6.291x_1+2.019^{**}$
説明変数および		第4種	y: 便益 (百万円) $x_1$ : 主道路全交通量 (pcu/h・方向)	
		第3種	$x_2$ : 主道路右左折率 (%)	
		第4種	y: 費用 (百万円) $x_1$ : 用地単価 (円/m <sup>2</sup> )	
		第3種	** 費用には事業費と維持管理費を含む	

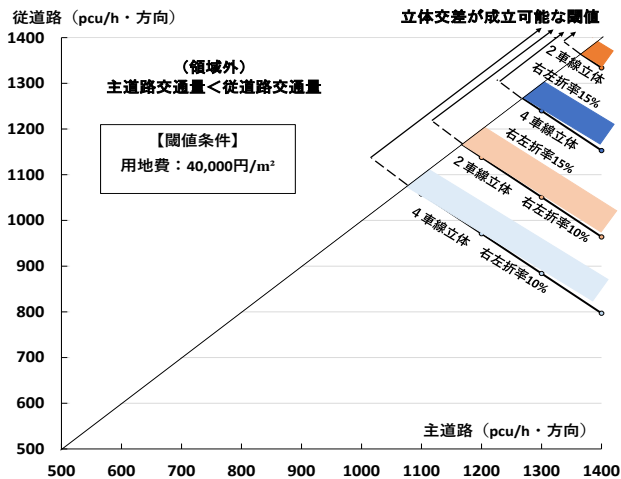


図-5 立体交差への改築が成立可能となる閾値 (第3種)

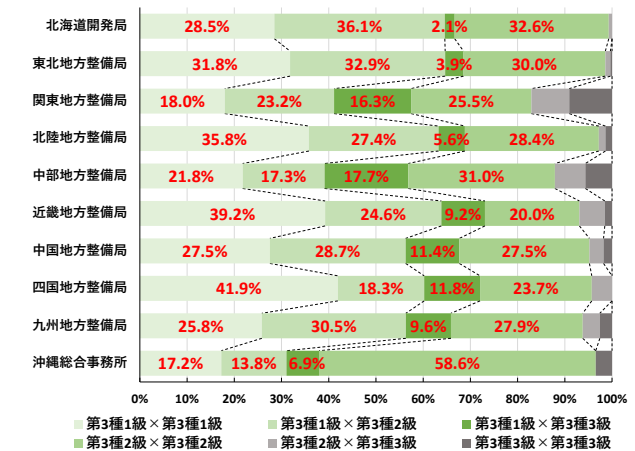


図-6 多車線相互で接続された交差点の種級区分の割合

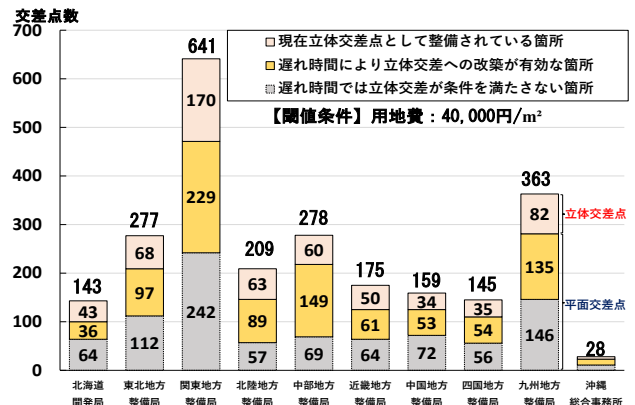


図-7 地方部で立体交差化が有効な交差点数



また、実際に立体交差化が成立可能な信号交差点を抽出したところ、地方部において十分な費用対効果が得られる交差点が多数存在する可能性があることが明らかになった。これは、交通渋滞や混雑といった顕在的な観点から立体交差化を検討するのではなく、信号制御による遅れを考慮した信号交差点が有する遅れという潜在的な観点で評価を行うことの必要性を示唆することができる。

本研究で対象とした立体交差化が成立可能となる交通条件は、信号の遅れ時間に着目したものであるが、立体交差化の効果は交通事故の削減や環境負荷の軽減など他の要因も考えられる。また、立体交差の構造の違いが事業費に影響する。今後は、これら他の要因も考慮した検討も必要である。また、本研究では単独交差点での評価であることから、連続立体を対象とした道路ネットワークの視点から立体交差化が成立可能となる交通条件の閾値を明らかにすることが必要である。

#### 参考文献

- 1) 下川澄雄, 森田綽之, 土屋克貴: 道路ネットワークにおける中間速度層の意義と適用範囲, 土木学会論文誌 D3 (土木計画学), Vol. 71, No. 5, pp. I\_613-I\_622, 2015.
- 2) (一社) 交通工学研究会: 階層型道路ネットワーク計画のためのガイドライン (案), 2018.
- 3) (公社) 日本道路協会: 道路構造令の解説と運用, 2015.
- 4) 橋本雄太, 小林寛, 山本彰, 中野達也, 高宮進: 信号交差点密度の道路状況と旅行速度の関係についての実態分析, 土木計画学・論文集, Vol. 47, CD-ROM, 2013.
- 5) 内海泰輔, 泉典宏, 山川英一, 野見山尚志, 若林
- 6) 栗林志帆, 浜岡秀勝, 森田綽之: 道路環境が旅行速度の分散に及ぼす影響分析, 土木計画学研究・論文集, Vol. 54, CD-ROM, 2016.
- 7) 下川澄雄, 小山田直弥, 吉岡慶祐, 森田綽之: 中間速度を実現するための道路構造条件の分析, 交通工学論文誌, 第4巻, 第1号 (特集号 A) pp. A55-A63, 2018.
- 8) Webster, F. V.: *Traffic Signal Settings, Road Research Technical Paper*, No. 39, Her Majesty's Stationery Office, London, 1958.
- 9) 後藤梓, 中村英樹: 拠点間連絡性能を考慮した機能階層型道路ネットワーク構成の検討, 土木学会論文誌 D3 (土木計画学), Vol. 72, No. 5, pp. I\_939-I\_954, 2015.
- 10) (一社) 交通工学研究会: 平面交差の計画と設計 基礎編—計画・設計・交通信号制御の手引—, 2018.
- 11) 土木工事数量算出要領, 国土交通省, 2019.
- 12) 令和2年度版 土木工事積算標準単価, (一社) 建設物価調査研究会, 2020.
- 13) 道路 IR サイト 個別道路事業の評価 新規事業採択評価・再評価, 国土交通省関東整備局, 2020.
- 14) 交通規制基準, 警視庁・交通局, pp. 120-123, 2021.
- 15) 費用便益分析マニュアル, 国土交通省道路局・都市局, 2018.
- 16) 国土交通省地価公示・都道府県地価調査, 国土交通省, 2019.
- 17) 交通工学研究会: 平成27年度道路交通センサス一般交通量調査, 2017.

(Received June 18, 2021)

(Accepted December 28, 2021)

## ANALYSIS OF THE APPLICABLE TRAFFIC CONDITION OF GRADE SEPARATED INTERSECTION CONSIDERING THE SIGNAL CONTROL DELAY

Yuta MAIWA, Sumio SHIMOKAWA, Keisuke YOSHIOKA,  
Eiichi YAMAKAWA and Shota TOMA

In Japan, most of the intersections connecting multi-lane road which is expected mobility performance are controlled by at-grade signalized intersections. Reconstructing a signalized intersection into a grade-separated intersection will decrease signal control delay and ensures high potential performance, so that, it could produce certain benefits even at low traffic level.

In this study, focusing on the signal control delay, we estimated the applicable traffic conditions of grade-separated intersection by comparing the time saving benefit and project cost, maintenance cost of the reconstruction of signalized intersection into a grade-separated intersection.

The result shows that the traffic volume level which grade-separated intersection can be applied is not so high, and it is applicable even in a free flow traffic level during peak hours. It was also confirmed that many at-grade intersections that satisfy this traffic volume level exists widely in Japan.