

二輪車の ISO 26262 におけるエクスポージャ調査

—実交通環境および道路構造における二輪車のエクスポージャ事例検討—

Exposure Study on ISO 26262 for Motorcycles

—A case Study of Motorcycle Exposures in Actual Traffic Environment and Road Structure—

金子 貴信*1

Takanobu KANEKO

長谷川 信*1

Makoto HASEGAWA

1. はじめに

自動車の電気／電子システムの機能安全国際規格 ISO 26262¹⁾は 2011 年に発行され、2018 年に予定されている第 2 版では二輪車も対象に含まれる。ISO 26262 を二輪車に適用する場合には、エクスポージャ(E)、コントローラビリティ(C)、シビアリティ(S)の適切な見積もりがモータサイクル用安全度水準(以下、「MSIL: Motorcycle Safety Integrity Level」という)の決定において重要な要素となる。エクスポージャは電気／電子システムの故障により危険な運用状況になりうる確率を表す要素である。二輪車のエクスポージャを見積もることは四輪車と比較し運用状況のデータが少ないため容易ではない。そのため MSIL 導出の論拠を提示するためには、実交通環境などでの二輪車の運用状況の調査が必要である。本調査では、第 2 版に Part12 として織り込まれることとなった二輪車の ISO/PAS 19695²⁾に準拠したハザード分析およびリスクアセスメント(以下、「HARA」という)を実施するために必要となる二輪車特有の運用状況を元に、交通調査などにより二輪車の走行に関わるデータを収集し、エクスポージャを検討した。本稿ではエクスポージャ導出に必要な基礎データおよびエクスポージャの事例を示す。

2. 二輪車エクスポージャ調査の背景

本調査の目的は、ISO/PAS 19695 に基づき MSIL を導出し、機能安全を二輪車に適用する際に必要なエクスポージャの推定についてのその基礎となるデータの種類、計測方法の事例を示すこ

とである。乗用車の ASIL 導出に関する研究文献はある程度存在しているが、二輪車の MSIL 導出に関する文献はほとんどみられない。

ISO/PAS 19695 に規定されている MSIL を決定する要素にはエクスポージャ、コントローラビリティ、シビアリティがある。二輪車のコントローラビリティ、シビアリティの推定方法については検討例^{3),4)}があるが、エクスポージャについては推定の根拠となる運用状況のデータが乗用車と比較して少なく、エクスポージャクラスをエキスパートが判断するためには実交通環境のエクスポージャ事例を調査することが有用である。

本調査に先立ち、ISO/PAS 19695 に準拠した HARA を実施するため、フューエルインジェクションシステム、スロットルバイワイヤ(以下、「TBW」という)システム、アンチロックブレーキシステム、コンバインドブレーキシステム(前後連動ブレーキシステム、以下、「CBS」という)といった二輪車の「走る、曲がる、止まる」に大きく影響し、また二輪車で一般的になりつつある電気／電子システムについて HARA を実施し、想定される課題を検討⁵⁾した。

その結果、TBW システムや CBS の失陥が発生したシチュエーションを検討する場合には、追従走行やカーブ走行時のエクスポージャを求めることが必要であり、特に追従走行のエクスポージャは二輪車と四輪車で異なることが想定された。そこで、3 章でこれらシステムの代表的なハザードとシチュエーションを検討し、調査対象となるエクスポージャを抽出した。

*1 一般財団法人日本自動車研究所 ITS 研究部

3. 代表ハザードおよびシチュエーションの抽出

3.1 TBW システム

TBW システムで起こりうる代表的なハザードは以下に大別できると考えられる。

- (1) 意図しない駆動力の喪失(減速)
- (2) 意図しない駆動力の発生(加速)



Fig. 1 加速ハザードシチュエーション
(v : 車速, td : 車間時間(距離))

これらハザードで(1)減速については 3.2 CBS のハザード(2)のシチュエーションに含めて検討した。(2)加速による危害が発生しやすいシチュエーションとして, Fig. 1 に示すように, 「自車(二輪車)が先行車に追従して走行中に, 意図しない加速が発生し, 先行車に追突する」シナリオが考えられる。この場合, 先行車との車間時間(距離)がどの程度あるかの確率でエクスポージャを決めることができ, その車間時間によりライダーのコントラビリティ(回避性)が変わってくる。二輪車と四輪車ではその走行環境の違いから, 既存の四輪車の車間時間データはそのまま適用できず, 二輪車独自のエクスポージャが存在することが推定される。

また, TBW システムでの加速ハザードシチュエーションとして Fig. 2 に示すように, 「一般道のカーブを自車(二輪車)が一定の速度で走行中に, 意図しない加速が発生し路側障害物に衝突する」シナリオが考えられる。このシチュエーションではカーブを走行する確率でエクスポージャを決めることができる。

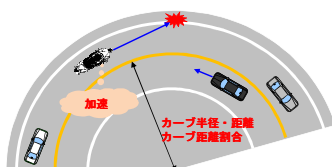


Fig. 2 カーブでの加速ハザードシチュエーション

3.2 CBS

CBS 失陥での代表的なハザードは以下に大別できると考えられる。

- (1) 意図しない CBS 機能喪失(減速しない)
- (2) 意図しない制動力の発生(減速)

これらハザードで(1)減速しないについては 3.1 TBW システムのハザード(2)のシチュエーションに含めて検討した。(2)減速のシチュエーションとして Fig. 3 に示すように「高速道で自車(二輪車)の後方を後続車が一定の速度, 車間時間で追従走行中に, 自車の意図しない減速により後続車が追突する」シナリオが考えられる。

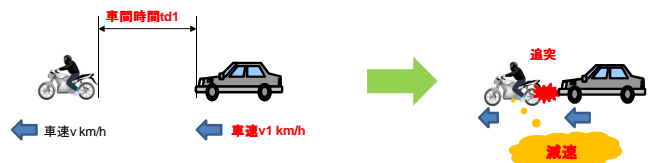


Fig. 3 減速ハザードシチュエーション

このシチュエーションでは二輪車に追従走行する四輪車の車間時間も二輪車独自のエクスポージャと推定される。

3.1, 3.2 節のこれらシナリオと仮説に基づき, 一般道および高速道での実交通環境における二輪車と先行車との車間時間および一般的な道路構造であるカーブのエクスポージャについての調査を実施した。

4. 一般道での追従車間時間調査

前述の通り, 今回交通調査の対象としたのは, 先行する四輪車と, それに追従走行する二輪車の車間時間の取得である。この追従走行について, 今回は以下の定義を用いて取得データの有効性を判断し, 調査を実施した。

4.1 追従走行の定義

追従走行の定義は以下の通りである。

- (1) Fig. 4 に示すように先行車に対し, 二輪車が進行方向に対し車両幅 $2/4$ の内側に位置していること。
- (2) 計測エリア内での四輪車と追従する二輪車の速度差および両者間の相対速度差が ± 5 km/h 以内であること。

(1)は二輪車が先行車をいつでも回避できるように, 先行車の端に寄って車間時間を意図的に短くして走行しているケース, (2)は追い越し動作中

で加速しており、その後車線変更するようなケースを除外するための定義である。つまり、一定速で先行車の後方中心を走行している状況が一般的なシチュエーションであると考え、対象となる二輪車を抽出した。

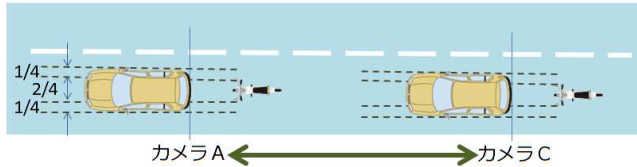


Fig. 4 二輪追従判定のイメージ

4.2 計測場所および手法

計測場所および手法について以下に記す。計測場所として、H22年度全国道路・街路交通情勢調査⁶⁾を参照し、日本で二輪車(昼)の交通量が多い道路の1つとして国道20号(東京都初台付近、制限速度:60 km/h)を選定した。平日の8:15~18:00の間、計5台のビデオカメラを用いて計測を行った。Fig. 5, 6に計測手法および計測画像例を示す。4台のカメラを道路側方に設置し車間時間の計測に用い、1台のカメラを進行方向後方に設置し、Fig. 6のカメラE画像に示すように、道路の車線に10 cm単位でマーカ線を記載して定義(1)の追従判定を行った。次にカメラA点を基準に通過する先行車と追従二輪車の車間時間を計測した。さらに、定義(2)を確認するため、カメラA-B間とC-D間で速度および相対速度(± 5 km/h以内)を計測し、一定速の判定を行った。なお、カメラのフレームレートは60 fpsである。

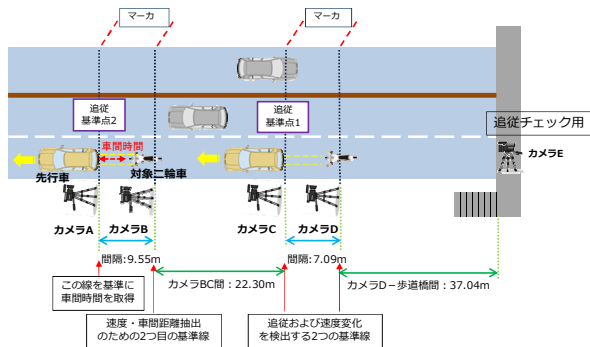


Fig. 5 一般道での車間時間計測手法イメージ

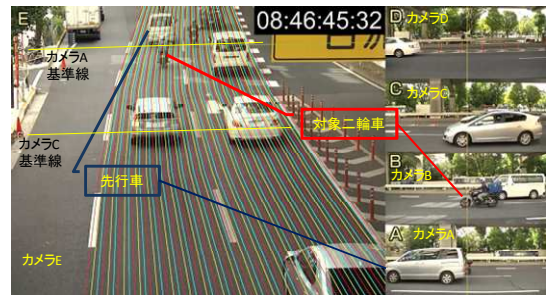


Fig. 6 一般道での車間時間調査画像の例

4.3 計測結果

二輪車の車間時間の分布をFig. 7に示す。実環境での二輪車車間時間の計測結果は以下の通りであった。

- ・識別された二輪車(総数): 1,620台
- ・追従走行二輪車: 104台
- ・車間時間 e4^{注1)}クラス: 0.52 s 以上 1.63 s 未満
- ・追従車速 e4 クラス: 39 km/h 以上 59 km/h 未満

また、このエクスポージャークラスは追従走行時の車間時間を前提に推定されていることに留意が必要である。前述の通り、映像データにより走行が確認できた二輪車は1,620台あったが、追従走行していると判定できたのは6%(104台)であった。これは一般道での二輪車追従走行シチュエーションの割合が、今回の交通環境では、10%未満であり、e3^{注2)}クラスと見積もれる。

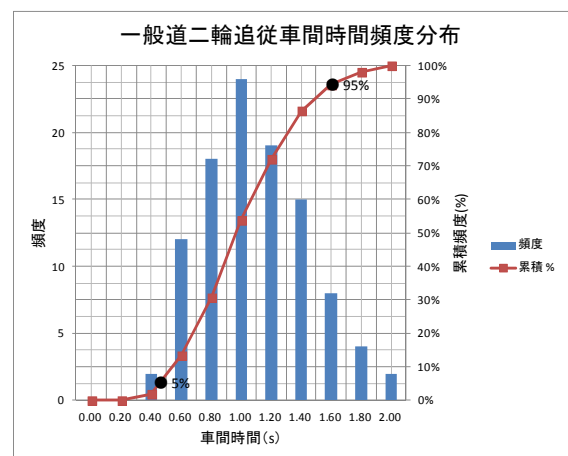


Fig. 7 一般道での二輪車追従車間時間分布例

さらに、並行して調査した四輪車の車間時間の計測結果は以下の通りであった。

注2) 規格⁷⁾では1~10%未満の確率をe3クラスとしている。

注1) Fig. 7の累積5~95%の間の90%包含値であり、規格⁷⁾では10%を超える確率をe4クラスとしている。

・車間時間 e4 クラス：0.90 s 以上 2.27 s 未満

事前の推定通り、追従走行時の車間時間は二輪車と四輪車で異なっており、二輪車独自のエクスポージャ推定が必要であることが分かった。

5. 高速道での追従車間時間調査

3.1, 3.2 節で述べたように高速道での加速および減速ハザードに関する追従車間時間のエクスポージャ調査手法および結果を以下に記す。

5.1 計測場所および手法

計測場所として都市間高速道路の中でも交通量が多く、日本を代表する東名高速道路を選定した。次に撮影場所は、H22 年度全国道路・街路交通情勢調査⁶⁾を参照し、厚木～秦野中井 IC 間では多くの二輪車(休日昼, 上下線合計 1556 台)が走行していることから、この区間(伊勢原付近)を選定し、休日の 10:00～16:00 の間で計測を行った。

計測手法の原理は Fig. 8, 9 に示すように一般道と同様であるが、高速道の追従走行では二輪車は定速走行と考え、2 点間での速度差による一定速判定(追従定義(2))は実施していない。そのため、車速・車間時間計測用に 2 台(道路側方カメラ A, B-2)および定義(1)の追従判定用に 2 台(進行方向前後カメラ B-1, C)の合計 4 台のカメラで計測した。

また、追従判定は一般道と同様に Fig. 9 のカメラ B-1, C 画像に示すように、道路の車線に 10 cm 単位でマーカー線を記載して追従確認を行った。なお、カメラのフレームレートは 60 fps である。

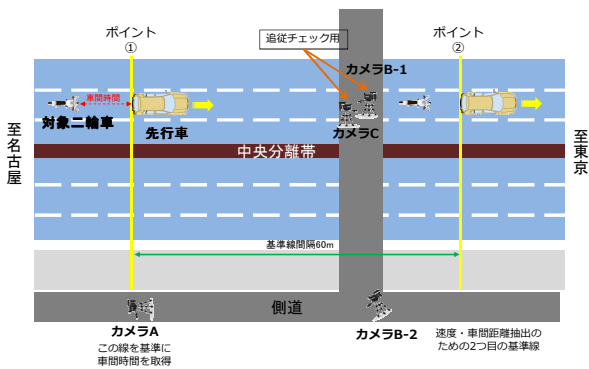


Fig. 8 高速道での車間時間計測手法イメージ



Fig. 9 高速道での車間時間調査画像の例

5.2 二輪車の計測結果

Fig. 10 に二輪車の追従車間時間の分布を示す。実環境での二輪車車間時間の計測結果は以下の通りであった。e4 クラスの短い側(5%ile)は概ね 0.5s であり一般道路と変わらなかった。

- ・識別された二輪車(総数)：344 台
- ・追従走行二輪車：102 台
- ・車間時間 e4^{注3)}クラス：0.47 s 以上 2.93 s 未満
- ・追従車速 e4 クラス：73 km/h 以上 118 km/h 未満

また、今回の高速道路での交通環境では、二輪車の追従走行の割合は 29.7% であり、二輪車の高速道路での追従走行のシチュエーションのエクスポージャは 10% を超え、e4 クラスと見積もれる。

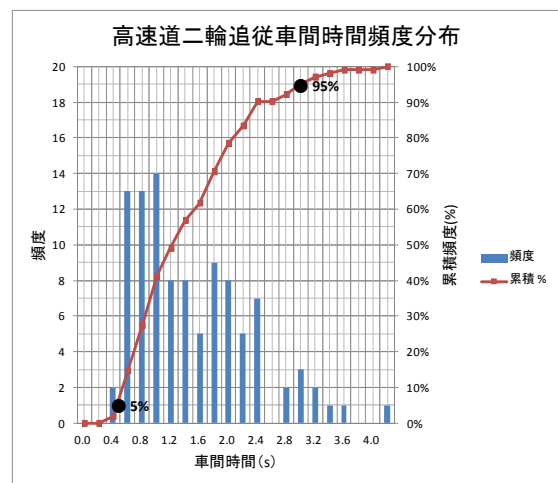


Fig. 10 高速道での二輪車追従車間時間分布例

5.3 後続四輪車の計測結果

3.2 節で述べたように、CBS 失陥での意図しない減速ハザードに関わる高速道路での追従走行時シチュエーション Fig. 3 では、二輪車に追従走行

注3) Fig. 10 の累積 5～95% の間の 90% 包含値

する四輪車の調査が必要であり、Fig. 8に示す調査と並行して後続車の車間時間も計測した。e4クラスの車間時間・車速のエクスポージャを以下に示す。後続車の車間時間 e4クラスは二輪車より長く、異なることが分かった。

- ・車間時間 e4クラス：0.62 s 以上 3.27 s 未満
- ・追従車速 e4クラス：76 km/h 以上 118 km/h 未満

6. 一般道のカーブ距離割合調査

3.1節で述べたように、TBWシステム失陥によるカーブでの加速ハザードに関し、Fig. 2に示すシチュエーションにおけるカーブを走行する確率(カーブ距離割合)のエクスポージャを調査した結果を以下に記す。

6.1 カーブ計測手法

一般道路のカーブ距離割合を調査するため、Fig. 11に示すように国道、都道、区道などで構成され、一般ライダーもよく利用すると考えられる東京都内25のバス路線の始点～終点に存在するカーブの道路構造(半径、距離など)を地図上で計測し、解析した。

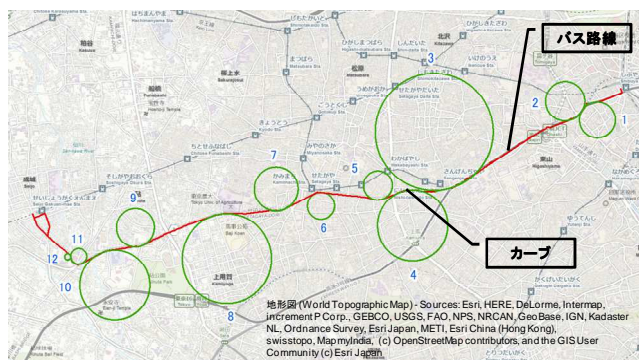


Fig. 11 一般道バス路線のカーブ抽出例

6.2 カーブ計測結果

Fig. 12にバス路線上のカーブ半径の頻度分布例を示す。カーブ半径の平均は302 mで分布が広く、対象の加速ハザードとなるカーブを選択する必要があることが分かった。そこで、道路構造令を参照し、カーブにおける設計上許容される横滑り摩擦係数0.11～0.15を超える横加速度が発生するカーブを最高速度(直前の道路標識の制限

速度)から求めた。具体的には横加速度 1.08 m/s^2 (0.11 G)および 1.47 m/s^2 (0.15G)を超えるカーブを抽出し、各バス路線長に占めるカーブ距離割合を算出した結果をFig. 13に示す。25路線の中の累積90%ileの路線のカーブ距離割合は以下の結果となった。

- ・横加速度閾値 1.08 m/s^2 ：5% 以下
 - ・横加速度閾値 1.47 m/s^2 ：2% 以下
- 道路構造令ではカーブの設計上どちらの値も許容されており、一般道路での加速ハザードに関わるカーブ距離割合は2～5%以下と推測される。したがって、一般道路でのカーブ距離割合のエクスポージャは10%未満となり、e3クラスと見積もれることが分かった。

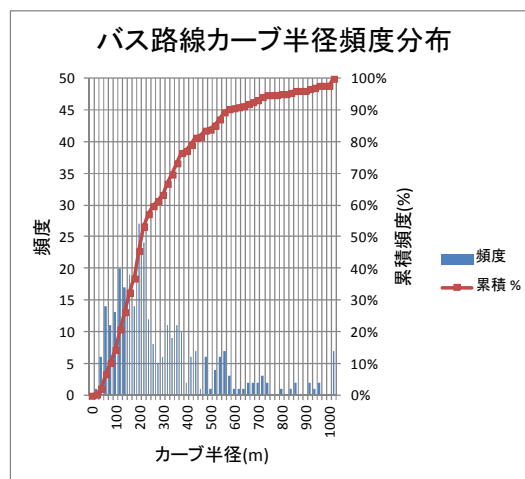


Fig. 12 一般道バス路線のカーブ頻度分布例

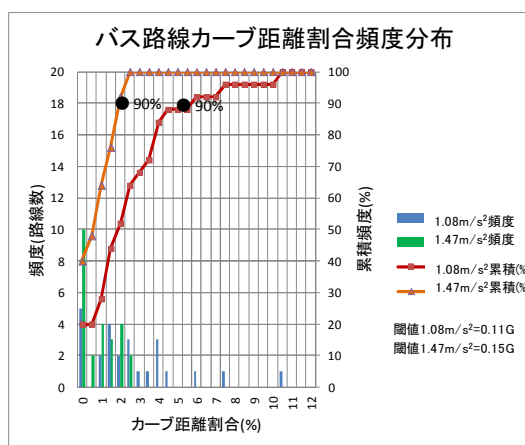



Fig. 13 バス路線のカーブ距離割合頻度分布例

7. 二輪車エクスポージャ調査のまとめ

本調査結果をエクスポージャのクラス(e1~e4クラス)としてまとめると Table 1 に示す二輪車エクスポージャテーブル例となった。なお、Table 中に記載された(参考)は各 e クラスを導出するために必要なサンプル数が得られなかったクラスであり、参考値として記載している。

Table 1 二輪車エクスポージャテーブル例

ID	シチュエーション	エクスポージャ項目	e1	e2	e3	e4
			< 0.1% of cumulative distribution 累積分布の0.1%未満	0.1% to 1% of cumulative distribution 累積分布の0.1~1%未満	1% to 10% of cumulative distribution 累積分布の1~10%未満	>10% of cumulative distribution 累積分布の10%超
1	一般道路 追従走行二輪車 	車間時間	--- 1.94s以上 (参考)	0.37s未満 1.87s以上1.94s未満 (参考)	0.37s以上0.52s未満 1.63s以上1.87s未満	0.52s以上1.63s未満
		速度	30km/h未満 71km/h以上 (参考)	30km/h以上32km/h未満 69km/h以上71km/h未満 (参考)	32km/h以上39km/h未満 59km/h以上69km/h未満	39km/h以上59km/h未満
		車間距離	--- ---	4m未満 25m以上 (参考)	4m以上6m未満 22m以上25m未満	6m以上22m未満
2	高速道路 追従走行二輪車 	車間時間	0.32s未満 4.07s以上 (参考)	0.32s以上0.35s未満 3.77s以上4.07s未満 (参考)	0.35s以上0.47s未満 2.93s以上3.77s未満	0.47s以上2.93s未満
		速度	62km/h未満 139km/h以上 (参考)	62km/h以上63km/h未満 131km/h以上139km/h未満 (参考)	63km/h以上73km/h未満 118km/h以上131km/h未満	73km/h以上118km/h未満
		車間距離	--- 98m以上 (参考)	9m未満 96m以上98m未満 (参考)	9m以上11m未満 87m以上96m未満	11m以上87m未満
3	高速道路 二輪追従走行四輪車 	車間時間	0.37s未満 4.03s以上 (参考)	0.37s以上0.41s未満 3.87s以上4.03s未満 (参考)	0.41s以上0.62s未満 3.27s以上3.87s未満	0.62s以上3.27s未満
		速度	60km/h未満 --- (参考)	60km/h以上63km/h未満 134km/h以上 (参考)	63km/h以上76km/h未満 118km/h以上134km/h未満 (参考)	76km/h以上118km/h未満
		車間距離	--- 96m以上 (参考)	10m未満 94m以上96m未満 (参考)	10m以上16m未満 85m以上94m未満	16m以上85m未満
4	一般道路カーブ 	カーブ距離割合	カーブ距離割合は2~5%以下のため e3クラス			

注記: e1,e2クラスは各クラスの導出に必要なサンプル数を満たしていないため参考値である

8. 今後の課題

今回の二輪車エクスポージャ調査結果は日本の代表的と考えられる場所と交通環境で実施した 1 事例であり、さらなる調査が必要と考えられる。また、二輪車のエクスポージャの課題としては走行中または信号停止、発進などのシチュエーションでの加減速度が挙げられるが、本調査で実施したような二つの定点間での計測では難しく、新たな手法による調査・解析が必要と考えられる。

参考文献

- 1) The International Organization for Standardization (ISO): Road vehicles - Functional safety, ISO 26262, Nov. 2011
- 2) The International Organization for Standardization (ISO): Motorcycles - Functional safety, ISO/PAS 19695, Dec. 2015
- 3) Kawakoshi, M. et al.: ISO 26262 Controllability Evaluation Technique by Expert Rider, SAE Technical Paper 2015-32-0746, 2015
- 4) Arai, Y. et al.: Research on Method for Classifying Injury Severity Using Motorcycle Accident Data for ISO 26262, SAE Technical Paper 2015-32-0714,

2015

- 5) Hasegawa, M. et al.: Examination of Hazard Analysis and Risk Assessment and Exposure Research in the Real Traffic Situation of ISO 26262 for Motorcycles, SAE Technical Paper 2016-32-0058, 2016
- 6) 国土交通省：平成 22 年度道路交通センサス「全国道路・街路交通情勢調査」,
<http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/index.html>
(2015.6.1)
- 7) 公益社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用,
p315-319 (2015)