

橋の渡り難さの簡略な評価方法

SIMPLE EVALUATION METHOD ON THE PEDESTRIANS' HARDNESS TO CROSS THE SIDEWALKS OF BRIDGES

神田 睦*, 宇都宮 英彦**, 長尾 文明***

Mutsumi KANDA, Hidehiko UTSUNOMIYA and Fumiaki NAGAO

*工修 株式会社 和 ^{かのう} 設計専務取締役 (〒770-0002 徳島市春日 1丁目 6番 9号)
 **工博 徳島大学教 授 工学部建設工学科 (〒770-8506 徳島市南常三島町 2丁目 1番地)
 ***工博 徳島大学助教授 工学部建設工学科 (〒770-8506 徳島市南常三島町 2丁目 1番地)

According to the results of questionnaire, pedestrians recognized the hardness to cross the sidewalks of bridge by three factors as "longitudinal gradient", "width of sidewalks" and "safety from traffic".

In process of the investigations, it was made clear that the longitudinal gradient can be substituted by three quantities as "mean gradient", "difference of elevation" and "maximum gradient".

Also the safety from traffic can be judged by the installation of safety structures like a guardrail. It was understood that the thoughtful consideration should be paid to realize the design concept of bridge respecting to human beings.

Key Word: longitudinal gradients of sidewalks of bridges, questionnaire of pedestrians' hardness to cross the bridges.

1. はじめに

橋のわたり易さに関する研究の一部として、すでに橋の縦断勾配の緩急は、平均勾配、高低差、および最急勾配で捉えられる事を示し、それらの用語の定義ならびに簡略判定法を提案している¹⁾。

本報では、引き続き「橋の渡り難さ」の簡便な判定法を見出し、それを示すと共に、実在する橋の中には、わずかな手直しで、「渡り難い橋」から「渡り易い橋」へと評価が好転し得るものがあることを述べるものである。

2. 概説

2.1 人にやさしい橋

人にやさしい橋とは、その橋を利用する人々にとって、先ず「渡り易い橋」でなければならない。著者らの念頭には、人々というのは、老若男女、健常者、障害者の全てを包含するものであって、特定の利用者のみを対象とするものではない。この意味で特定の利用者に別行動を要求するような設計、すなわち迂回とかエレベーター付きなどの別行動で解決しようとする設計を目指すものではない。

渡り易い橋とは、橋によって通行上多少の不具合が生じていても、多くの人にとっては、どうにか快適な移動が行える橋を指すものとし、そうでないものを渡り難い橋と位置づけた。具体的には、アンケートにより、3人に

1人が渡り難いと感じた橋を「渡り難い橋」とし、渡り難いと感じる人がそれ以下の橋は「渡り易い橋」とした。これには、理論的裏付けはないが、参考文献1)のpp. 556, 4. 2(1)と同じ理由から、3人に1人という割合を採用した。

渡り難い橋とはどういうものかを構造工学的パラメーターによって示して、これらを数値化し人にやさしい橋づくりに役立てようとするものである。その手段として、徳島市中心部のいわゆるひょうたん島に架かる橋梁16橋についてアンケート調査²⁾を基に、分析を行った。

橋の完成後の渡り難さの判定を事前に予測し得る簡便な判定法がアンケートに基く散布図および数量化Ⅱ類の分析結果をもとに得られたので、人にやさしい橋づくりのための一資料として報告するものである。

さらに、実在する橋の中には、わずかな手直しで、「渡り難い橋」から「渡り易い橋」へと評価が好転し得るものがあることを述べるものである。

2.2 用語の定義

本報では、従来厳密な定義がなされることなく使用されている言葉、あるいは多少あいまいなまま使われている言葉や、「勾配の急な橋」、「渡り易い橋」などという言葉について以下のように定義した(図-1参照)。

被験者：アンケートに答えた人という。

始 点：橋梁部勾配区間の始まりで、アプローチ部も含めて、水平距離1.5m間の割線勾配が3%に達した

地点とする。左岸と右岸に各々存在する。

終 点：橋梁部勾配区間の頂点とする。

平均勾配：始点と終点を結んだ勾配で、進行方向について昇り勾配をいう。

高 低 差：始点と終点の鉛直距離。

最急勾配：始点と終点間で、任意の水平距離1.5m間の割線勾配が最大のものをいう。

区 間 長：始点と終点間の水平距離をいう。

勾配要素：平均勾配、最急勾配、高低差、区間長などをいう。

急な勾配の橋：被験者の1/3以上が勾配が急(やや急も含む)だと答えた橋。

渡り難い橋：被験者の1/3以上が渡り難い(やや渡り難いも含む)と答えた橋をいう。

渡り易い橋：渡り難い橋以外の橋をいう。

なお用語についての詳細は参考文献²⁾を参照のこと。

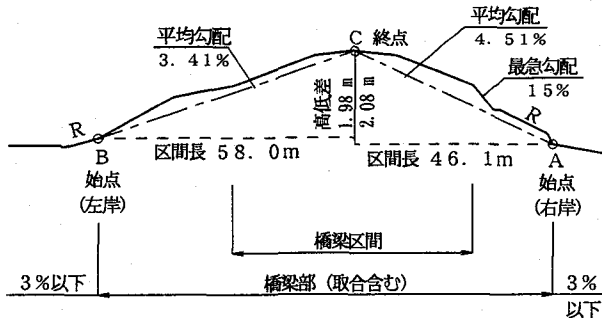


図-1 橋梁縦断面図および用語の定義

2.3 アンケートの概略

徳島市内に実在する16橋を対象に、大学生36名を被験者とし、各々の橋を渡り終えた時点で逐次アンケート用紙に記入させた。橋を渡るルートは上下流側、左右岸からの出発と4ルートあるが、本報では1橋につき1ルートのみ指定し、自転車と徒歩で一度ずつ渡らせた。アンケートの内容としては、基本的事項(性別、通行手段など)、構造的事項(勾配、歩道幅、舗装、安全などに関するもの)、景観その他の事項(橋のデザイン、不快感、見晴らし、好き嫌い、渡り難さ)などである。対象とした橋の構造諸元は表-1に示すとおりである。

表-1 各橋の構造諸元

橋梁番号	平均勾配 (%)	最急勾配 (%)	高低差 (m)	歩道幅 (cm)	区間長 (m)
①	5.0	8.9	2.0	700.0	39.4
②	2.9	7.6	1.1	198.5	38.7
③	3.8	7.8	2.2	423.8	58.0
④	3.8	7.5	2.9	148.0	77.0
⑤	3.9	5.7	2.2	401.0	55.9
⑥	3.1	19.3	2.1	149.0	66.8
⑦	5.3	9.4	3.0	350.0	57.5
⑧	2.9	5.5	2.1	203.0	72.8
⑨	4.0	7.8	2.1	224.5	50.9
⑩	4.6	7.3	2.4	352.0	52.0
⑪	4.0	6.8	2.5	305.0	63.0
⑫	5.0	13.3	3.9	148.5	78.2
⑬	4.5	15.0	2.1	225.2	46.1
⑭	3.1	4.0	1.9	300.5	60.2
⑮	3.0	5.1	1.9	408.5	63.4
⑯	3.0	3.4	1.9	500.0	64.5

3. アンケート結果の分析

3.1 交通手段について

表-2にアンケートの集計の一部を示す。以下に、自転車と徒歩について、比較を行なう。これによると、橋梁構造に直接関連する項目としては、特に勾配に関して急だと感じる割合が多いのは自転車の方である。この結論は、同じ人間が両方の共通被験者である事から明白である。歩道幅に関しては、若干徒歩の方が敏感(狭いと感じる割合が多いこと)になっている橋も散見される。また、車に対する恐怖感(恐怖感に反応した例もある)は、これは、自転車は車にのみ恐怖感を抱くのに対して、徒歩は、車の他に自転車に対しても恐怖感を抱いているので、余計車が恐く感じるのだと推論している。

おおまかにいえば、歩道幅・恐怖感については、自転車、徒歩共に大差がないのに対して、勾配については、自転車をはるかに敏感である。

さらに、渡り難さに対する反応もただ1橋⑯を除けば全て若干自転車の方が敏感である。ただし、例外の橋⑯のアンケート36名中渡り難いとの解答者数は、わずかに徒歩で3人に対して自転車2人と絶対数も少数なので、誤差の範囲とみなせば、渡り易さに関しては、自転車にやさしければ、人にもやさしいとみなせる。

よって、本報では、渡り易い橋の設計を意図しているので今後断りのない限り、自転車についてのデータを基として記述することにする。なお、表-2に示す以外の項目の掲載は省略した。

表-2 アンケート結果(抜粋)

橋梁番号	渡りにくい %		勾配急 %		歩道幅狭い %		恐怖感あり %	
	自転車	徒歩	自転車	徒歩	自転車	徒歩	自転車	徒歩
①	69.4	34.3	88.9	55.6	33.3	11.1	2.8	0.0
②	8.3	2.9	11.1	2.8	22.2	28.6	2.8	2.8
③	16.7	11.1	38.9	16.7	8.3	2.8	0.0	2.8
④	94.4	88.9	88.9	75.0	100.0	100.0	58.3	55.6
⑤	8.3	5.6	55.6	25.0	0.0	0.0	0.0	2.8
⑥	83.3	72.2	55.6	25.0	91.7	97.2	50.0	36.1
⑦	97.2	69.4	100.0	80.6	36.1	27.8	33.3	36.1
⑧	30.6	30.6	19.4	8.3	55.6	47.2	5.6	19.4
⑨	88.9	72.2	83.3	41.7	50.0	47.2	30.6	33.3
⑩	80.6	58.3	91.7	63.9	16.7	11.1	27.8	30.6
⑪	63.9	36.1	83.3	47.2	25.0	22.2	5.6	5.6
⑫	97.1	91.7	100.0	94.4	97.2	94.4	41.7	38.9
⑬	50.0	34.3	61.1	22.2	38.9	50.0	13.9	16.7
⑭	13.9	13.9	8.3	5.6	16.7	8.3	2.8	0.0
⑮	5.6	8.3	11.1	0.0	11.1	11.1	0.0	2.8
⑯	8.6	5.6	13.9	2.8	2.8	5.6	0.0	0.0
平均値	51.1	39.7	53.5	35.4	37.9	35.3	17.2	17.7

3.2 散布図に基づく分析

(1) 勾配要素と渡り難さ

アンケート調査により得られた渡り難さと勾配要素との散布図を図-2~5に示す。それによると、渡り難さに関して区間長は相関係数 $R=0.2$ (図-5)であり、相関は認められず、最急勾配は相関係数 $R=0.54$ (図-4)で、相関は低い。平均勾配と高低差は、渡り難さに対して各々相関係数 $R=0.67, 0.68$ で、若干の相関が認められる(図-2,3)。資料数の不足は感じられるが、図-3で見る限りでは、高低差が2.0m付近を越えると渡り難くさが増し、2.5mを越えると、例外なく渡り難くなっている。渡り難さと急勾配感との散布図を図-6に示す。相関係数 $R=0.89$ で良好な相関が見られる。ここで極端に離散が目立つ橋⑤と⑥に注

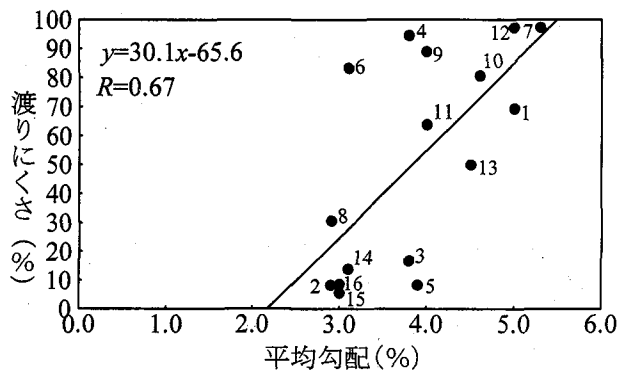


図-2 平均勾配と渡り難さの関係(自転車)

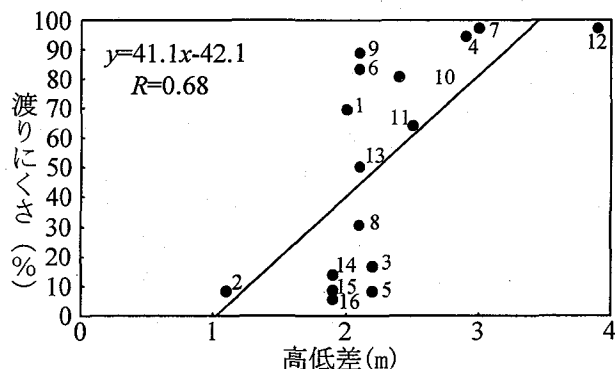


図-3 高低差と渡り難さの関係(自転車)

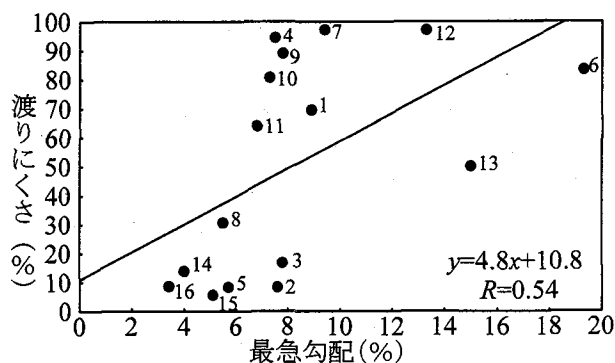


図-4 最急勾配と渡り難さ(自転車)

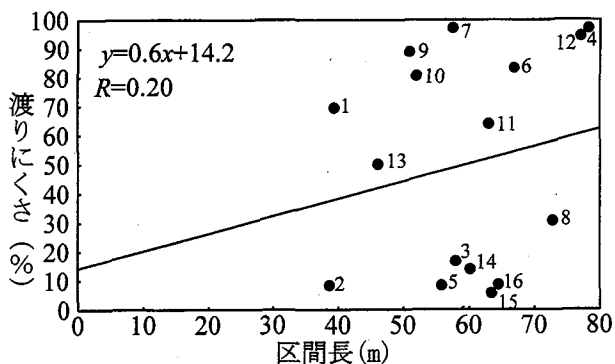


図-5 区間長と渡り難さの関係(自転車)

目してみたい。偶然ではあるが、急だと感じる勾配感には共に55.6%である(表-2)。それにもかかわらず、渡り難さに対する評価が極端に違う(8.3%対83.3%)ので、2橋の諸元を比較した(表-3)。

平均勾配については、橋⑤の方が条件は悪い。高低差は、2.2mと2.1mで良く似ている。区間長にも有意な差は

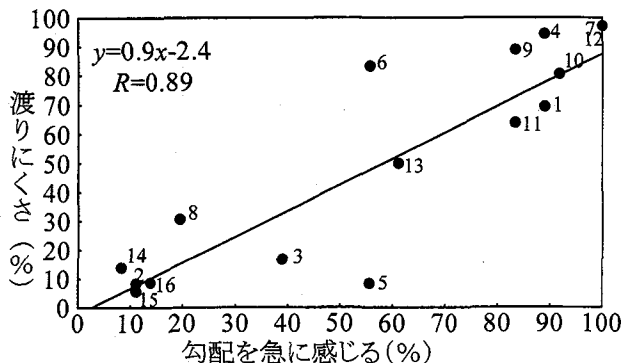


図-6 勾配の感じ方と渡り難さの関係(自転車)

表-3 橋⑤と⑥の諸元比較

	橋⑤	橋⑥
渡り難さ	8.30%	83.30%
平均勾配	3.90%	3.10%
最急勾配	5.70%	19.30%
高低差	2.20m	2.10m
歩道幅	401cm	149cm
区間長	55.9m	66.8m
分離状態	車道部と壁にて完全分離。但し、歩道部内の分離なし。	車道部とマウンドアップのみで分離、歩道部内の分離なし。

認められない。最急勾配は橋⑥の方が19.3%と断然急だが、これは、高低差29cmを区間1.5mでスリ付けている結果であり、評価への影響は少ない。以上の結果、勾配要素に対する総合的評価として、アンケートでは勾配感としては、両橋に同じ評価がなされたものとする。故に、橋⑤と⑥の例のように、渡り難さの評価は、勾配感以外の項目によっても差が生じるものだと判断すべきである。これだけで結論付けは出来ないが、渡り難さに影響すると先ず考えられるのは勾配要素であり、それ以外にも歩道幅(橋⑤は4.0m、橋⑥は1.5m)などがありそうである。恐怖感に関連のありそうな通行帯の分離状態については、どちらの橋も一応歩車道は分離されているが、マウンドアップだけでは不十分であることも予想される。

(2) 歩道幅と渡り難さ

歩道幅と渡り難さの関係は図-7のようになる。

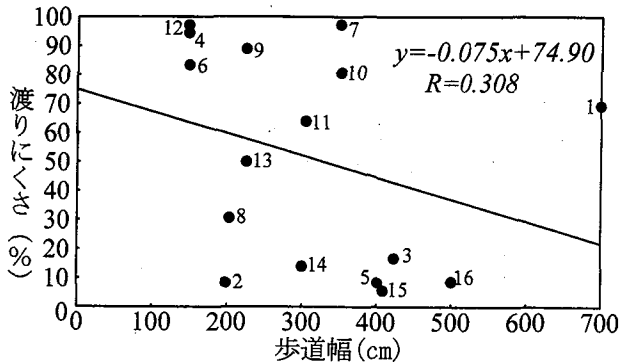


図-7 歩道幅と渡り難さの関係(自転車)

1次式による単回帰分析によれば相関性は薄い。しかし、次のような事から、歩道幅も相当関係している事が想定出来る。特に歩道幅2.0m~3.5mの間は渡り難さの評価が橋によって随分異なっている。今、この区間の橋を対象として3人に1人の基準に従って、33%を境として、渡り難い橋群(橋⑦、⑨、⑩、⑪、⑬)と、そうでない橋群(橋②、

⑧, ⑭)とに分けて, 各橋の平均勾配を比べて見る。渡り難い橋群の平均勾配は, 番号順に5.3, 4.0, 4.6, 4.0, 4.5(%)で, そうでない部の橋は, 2.9, 2.9, 3.1(%)である。

この事実は, 渡り難さの判定には, 勾配が強く影響している事を示している。しかし, 次のような事実で, 歩道幅もかかわっている事が判る。

渡り難さについて, 歩道幅が1.5mの橋群(橋④, ⑥, ⑫)は評価が悪く(83.3%以上), 歩道幅4.0m超の橋群(橋③, ⑤, ⑮, ⑯)は評価が良い。(橋①を除けば, 16.7%以下である。)橋①については後述するとして, 次のような考察を行った。勾配の影響を排除して, それ以外の影響を知るには, 同じ勾配の供試体が沢山あればよい。本報では橋の供試体の数は少ないが, 勾配要素の一つである平均勾配が, 似ているのが5橋(平均勾配3.8%~4.0%)(③, ④, ⑤, ⑨, ⑪)あるので, それに注目した。

供試体の個数は少ないがそれらの橋について, 渡り難さと歩道幅の関係を表-4 および図-8 に示す。

表-4 平均勾配 3.8~4.0%の橋

橋梁番号	平均勾配 (%)	渡り難い (%)	幅員 (m)
③	3.8	16.7	4.3
④	3.8	94.4	1.5
⑤	3.9	8.3	4.0
⑨	4.0	63.9	3.0
⑪	4.0	88.9	2.3

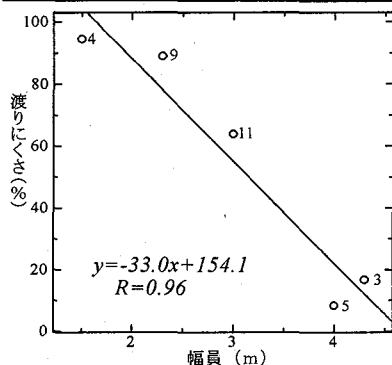


図-8 歩道幅と渡り難さの関係(抽出分)

図-8によると, かなり良好な区分けが行なわれている。わずか5個の資料でも, 歩道幅2.5m~3.0m付近で評価が分れる分布状態は, 偶然だとはいいい切れない。

今, 橋の勾配を0%, 即ち水平だとすれば, 水平な歩道の「通り易さ」と「橋の渡り易さ」は全く同じことである。現行の道路構造令では, 橋の歩道の例外的最小幅員が2.0mである点を考えると, 歩道の「通り易さ」にも歩道幅が関係している事が推定出来る。

参考として歩道幅と歩道を狭く感じるとの散布図を図-9 に示す。

ここで, 特異な挙動を示している橋①の特殊性に触れておく必要がある。歩道幅は7.0m(歩道5.0m+自転車道2.0m)となっているが, 平面線形の関係からか自転車道が本来自転車の通るべき部分を通行する例が少なく, ほとんどが歩道部を通行している。その意味から, 自歩道幅の

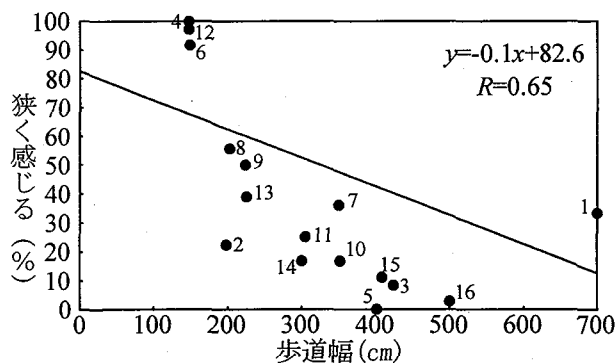


図-9 歩道幅とその感じ方の関係(自転車)

実質は5.0mと見るのが妥当である。また, 通行の極少ない時間帯を選んで実験をしたのであるが, この橋だけは, 一般人の通行が途切れなかった事実もあって, 狭く感じる割合が増えた傾向があると思われる。すなわち, 他の橋と違って通行量の影響を排除出来たデータではなかったので, ある程度評価が悪く出ているものと推測される。

続けて, 歩道幅について考察を進める。今歩道幅2.0~2.5mの橋群(②, ⑧, ⑨, ⑬)に注目する。街中とは思えないのどかな環境の中の平成8年に新装なったばかりの橋②では狭いという評価は22.2%と低い, それ以外の橋は35~50%の間である。歩道幅3.0m以上の橋群は, 前述の橋①と, 歩道の一部に障害物のある橋⑦以外は30%以下と良好な評価が得られている。歩道幅が1.5mの橋(④, ⑥, ⑫)では例外なく渡り難いと評価されている事と合せて考えると最低3.0m程度の歩道幅が望ましいものと考えられる。

その意味から判断すれば, 次のような事がいえる。平成5年11月25日の法令改正によると, 従来幅員1.5mでも良かった歩道幅は2.0mに, 従来2.25mが適用されていた第4種1級の橋の歩道の幅員の最小値は2.75mと変更になった。だから, これらが完全に実施されるならば歩道幅による渡り難さは相当改善されることが分る。ただし, 最小幅員2.0mが適用出来る橋がある点を考慮すればまだ完全に満足すべき法令ではないと思われる。さらに, 本アンケート調査は通行量の極端に少ない真夏の日中に行ったものであり, 今後通行量の渡り難さに及ぼす影響も考慮した最小歩道幅を決定する必要がある。

(3) 車による恐怖感と分離構造について

車による恐怖感と渡り難さの散布図は図-10で, 相関係数 $R=0.84$ と相関性もかなり良い。図では, 被験者36名中2人以上(5.6%)が車の恐さを感じた橋は, 渡り易い部類(図の33.3%ライン以下の領域)には, 全く存在しない。それ故, 渡り難いという評価は, 勾配, 歩道幅など他の要因も含んだ結果であるとはいえ「少数の人に車の脅威を抱かせるような構造の橋は, やはり渡り難いものだ」と判定するのが自然であろう。

いかなる橋が車の脅威を感じる事なく渡れる橋なのかについての詳しい分析は今後の課題としたい。

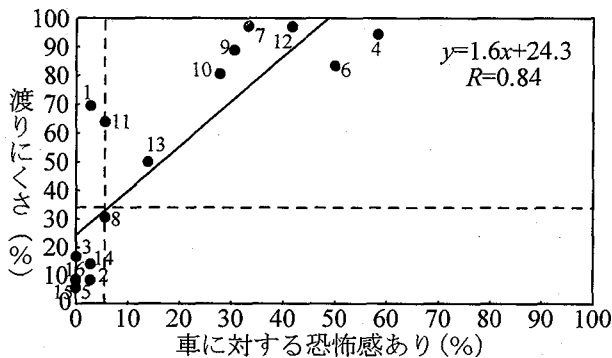


図-10 車に対する恐怖感と渡り難さの関係(自転車)

ここでは、車に対する恐怖感の要因となるとと思われる項目を簡単に列記するに留める。

イ. 車に関する項目

- a) 車の交通量 b) 大型車の混入具合
- c) 車のスピード

ロ. 構造に関する項目

- a) 通行区分の分離形式 b) 待ちスペース(信号, 横断)
- c) 幅員 d) 平面線形 e) 視距(見越し), 視野
- f) 勾配 g) 段差, スリ付け h) 信号

ハ. その他, 自転車, 歩行者の交通量など

(4) 平面線形について

線形が悪いという評価と渡り難いという評価の関係は図-11 のようである。

線形が悪いという評価が数%~10%を越すと渡り難さの評価は急激に増えている。線形の良否が渡り難さの評価の一要因であろうと判断出来るが、平面線形の良否の客観的な判断方法が見つからなかったため、本報の最終評価の指標には採用しなかった。

アンケートによる百分率に替わり平面線形の良否を判定する客観的な方策は現在模索中であるが、工夫すれば、主観的とはいえ或る意味では客観性を持たし得る事も可能だと考えている。

橋④はY字形をした橋で、橋の頂点付近で交差点とカーブが重なっている。また、橋⑨は、その後改良されたが調査時点では、右岸から左岸への昇り勾配の橋で左岸を渡り切った所で鍵型に曲がっていた。両橋共に技術者ならずとも、線形の悪さは一目で判る所である。

また、橋⑩は、図-12の略図のように、平均勾配5.0%の急坂の下りで鋭角に切り返さないと、脇道の車道へ出てしまうという欠点を有している。直進するには斜め横断をしなければならない。上記の3橋などは線形が良くないとの判断は技術者が主観で行ない得る例だといえる。

橋⑩は交通量の多い脇道との交差点を3ヶ所信号付きで渡った実験方法への不満も入っているかも知れないが、橋の兩岸のすぐ脇に交通量の多い交差点を造った事への批判も含まれており、線形が悪いとの評価が36.1%と3人に1人を越えたが、33.3%に比べて、わずかなオーバーで

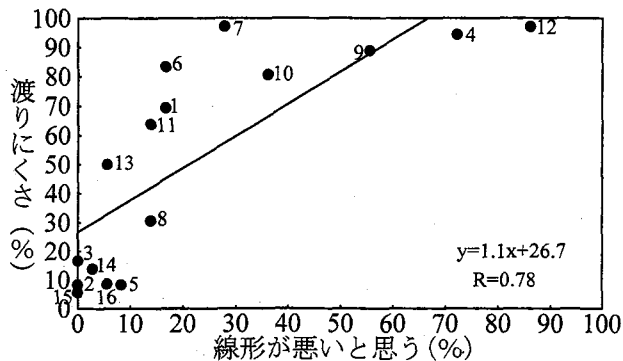


図-11 線形と渡り難さの関係(自転車)

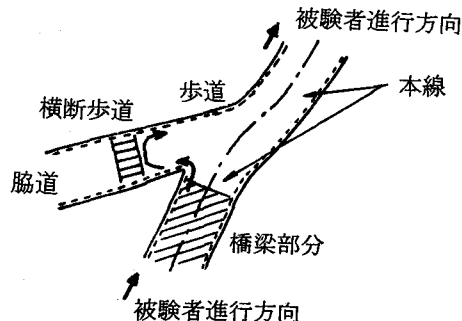


図-12 橋⑩の平面図

ある。この橋は、直進して渡れるので平面線形に対してはやはり直進性が有利に働いて、その他の欠点をカバーして、多少評価が甘くなったということも考えられる。

スペースの関係で、各橋の平面図は省略するが、橋⑩以外は直進性に注目すれば、客観的に線形の良否を評価し得ることが判る。しかし、以下の事項から、交通量の影響も無視出来ない。交通量の多い橋⑩(82,300台/日)と橋⑦(63,450台/日)が同じように橋のパラペット直後で脇道を横断するような線形になっており、橋⑦は線形の悪さの評価が27.8%であり、33.3%よりは小さいがやや橋⑩と似た値となっている。また、交通量が極端に少なく、実験時には皆無に近かった橋⑧が直進性でやや劣り、平面形では悪い評価になると思われたが、意外に13.9%であった。この事から平面線形の評価には直進性以外に脇道の関係や交通量の影響がある事が伺える。

以上を総合判断すれば、存外簡単な線形評価の基準作成も可能と思われるが、これも交通量を絡めた今後の研究課題としたい。

(5) その他の項目について

交通量も大きな要因である事が推察出来たが、本報では前述のように、アンケート実施時は出来るだけ通行の少ない時間帯を選び、交通による影響を排除しようとしたが、橋によっては若干影響があった事は否めないものと受け止めている。渡り難さの簡略な評価方法に用いた要因(平均勾配, 高低差, 最急勾配, 歩道幅, 通行帯の完全分離)以外の要因も何らかの影響はありそうなので、それらに対する検討も今後の課題である(表-9~11 参照)。

3.3 数量化Ⅱ類による分類

質的な要因によって質的な外的基準を予測(あるいは判別)するには数量化Ⅱ類が有効である。外的基準を「橋の渡り難さ」とし、説明要因を種々組み合わせせて、良好な結果が得られる場合を探った。

調べた範囲では、橋の渡り難さに対しては、急勾配感、車に対する恐怖感および歩道幅の3個を選定して表-5のようにカテゴリーを分けた場合の結果が良い事が分った。数量化Ⅱ類による分析結果および判別を各々表-6および図-13に示す。また、徒歩に対する分類データや分析、判別結果などを表-7、表-8、図-14に示す。

表-5 渡り難さに関する分類データ(自転車)

橋名	勾配が急	恐怖感がある	歩道幅	渡りにくい
①	2	1	1	2
②	1	1	2	1
③	2	1	1	1
④	2	3	2	2
⑤	2	1	1	1
⑥	2	3	2	2
⑦	2	3	2	2
⑧	1	2	2	1
⑨	2	2	2	2
⑩	2	2	2	2
⑪	2	2	2	2
⑫	2	3	2	2
⑬	2	2	2	2
⑭	1	1	2	1
⑮	1	1	1	1
⑯	1	1	1	1

	1	2	3
勾配を急に感じる(%)	33.3未満	33.3以上	
車に対する恐怖感がある(%)	5未満	5~33.3	33.3以上
歩道幅(cm)	400.0以上	400.0未満	
渡り難い(%)	33.3未満	33.3以上	

表-6 渡り難さに関する分析結果(自転車)

アイテム	カテゴリー	例数	カテゴリー数量	範囲(偏相関係数)
勾配が急	1. 緩	5	-0.944	1.373
	2. 急	11	0.429	(0.671)
恐怖感がある	1. ない	7	-0.458	0.915
	2. 普通	5	0.275	(0.360)
	3. ある	4	0.458	
歩道幅	1. 広い	5	-0.252	0.366
	2. 狭い	11	0.114	(0.182)
渡りにくい	1. 渡りやすい	7	-0.999	$\eta^2=0.7765$
	2. 渡りにくい	9	0.777	

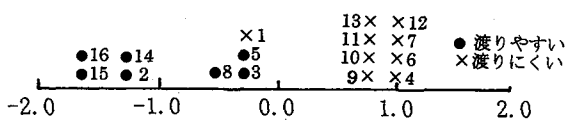


図-13 渡り難さの判別(自転車)

ただし、この場合は例外として、橋①は渡り易い橋として分類されることになり、若干不満が残る結果となった。これは、幅員に関してカテゴリーを4.0mを境界として、広い方と狭い方に区分した事により、橋①は広い部類に振り分けたのであるが、アンケート結果では、自転車にとっては狭いという評価が丁度33.3%で狭い部類に振り分けるのが妥当なのかも知れない。しかし、説明変数としては、アンケートの結果ではなく、元の橋の物理的な量7.0mを使ったので、上記のようになったものと思われる。参考までに徒歩の場合の数量化Ⅱ類の結果を示すと、図-14のように橋①は渡り難い橋のグループに判別されている。

表-7 渡り難さに関する分類データ(徒歩)

橋名	勾配が急	恐怖感がある	歩道幅	渡りにくい
①	3	1	1	2
②	1	1	3	1
③	2	1	1	1
④	3	3	3	2
⑤	2	1	1	2
⑥	2	3	3	2
⑦	3	3	2	2
⑧	1	2	3	1
⑨	3	3	3	2
⑩	3	2	2	2
⑪	3	2	2	2
⑫	3	3	3	2
⑬	2	2	3	2
⑭	1	1	2	1
⑮	1	1	1	1
⑯	1	1	1	1

	1	2	3
勾配を急に感じる(%)	10未満	10~33.3	33.3以上
車に対する恐怖感がある(%)	5未満	5~33.3	33.3以上
歩道幅(cm)	400.0以上	300~400.0	300.0未満
渡り難い(%)	33.3未満	33.3以上	

表-8 渡り難さに関する分析結果(徒歩)

アイテム	カテゴリー	例数	カテゴリー数量	範囲(偏相関係数)
勾配が急	1. 緩	5	-1.018	1.789
	2. 中	4	-0.075	(0.799)
	3. 急	7	0.770	
恐怖感がある	1. ない	7	-0.289	0.516
	2. 普通	4	0.221	(0.292)
	3. ある	5	0.227	
歩道幅	1. 広い	5	-0.221	0.383
	2. 普通	4	-0.008	(0.230)
	3. 狭い	7	0.162	
渡りにくい	1. 渡りやすい	7	-1.045	$\eta^2=0.8501$
	2. 渡りにくい	9	0.813	

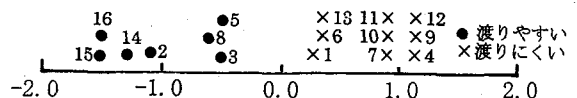


図-14 渡り難さの判別(徒歩)

4. 「橋の渡り難さ」の評価方法の提案

数量化Ⅱ類によると、「渡り難さ」を説明するには急勾配感、歩道幅、恐怖感の3要因が適当なことが判る。しかし、分析に用いた説明変数にはアンケート結果が含まれているので、その数値を用いて新しく設計する橋の予測に用いるには、若干無理がある。そこで、急勾配感に代わるものとして、勾配の3要素¹⁾(平均勾配、高低差、最急勾配)を採用した。一般的に多変量解析においては、共変量や有意な交互作用のある変数を用いる事はよくないといわれている。しかるに、本報では勾配の表示において、お互いに関連があるかも知れない3要素(平均勾配、高低差、最大勾配)を使って上手くいった¹⁾。結果を見ていう訳ではないが、数量化Ⅱ類という交互作用とは独立変数間に強い関連性があるということではない³⁾。ただし、独立変数間に強い関連性があるときは抑圧の生じることがある³⁾。といわれているので、変数間の相関性を以下のように調べてみた。これらの3要素は一見関連しているかのようなのであるが、実は独立している変数と取り扱うのが自然と考えられる。上記3要素の各々2要素間の散佈図を図-15~図-17に示す。一見して相関は低い事が認められよう。ただ、平均勾配-高低差の相関係数は $R=0.647$ ということであるが、この程度では、問題はなかったのだと考えている。よって説明変数に使用可能と判断した。さらに、説明変数に採用した勾配の3要素の独立性は、実際に橋梁を設計した者には、次の説明で理解を得るであろう。

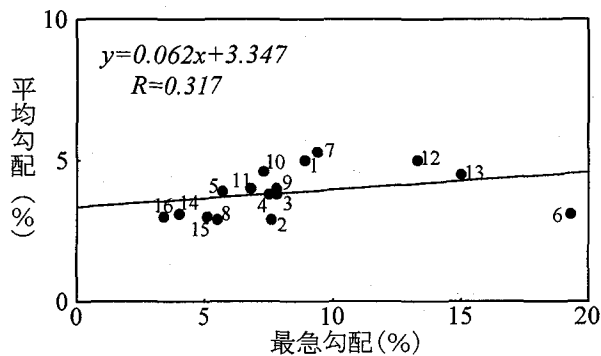


図-15 平均勾配と最急勾配の関係

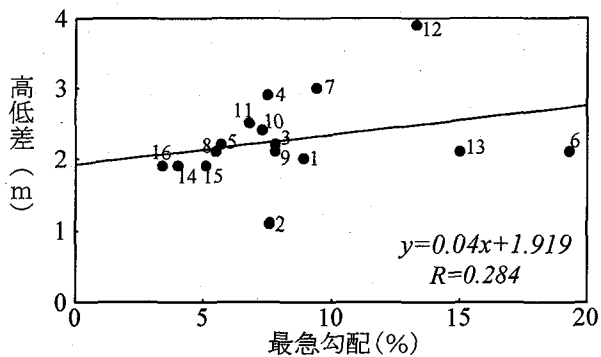


図-16 最急勾配と高低差の関係

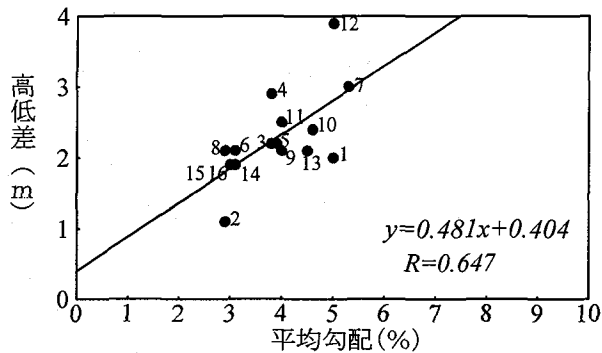


図-17 高低差と平均勾配

イ. 車道の縦断曲線と歩道のそれには差異がある。

車道部のそれは主として橋の前後のアプローチ道路によって決められる。当然非常に滑らかに施工されている。ところで、歩道の縦断線形は、具体的には、車道の縦断曲線の他に橋の兩岸の歩道の位置、歩道面の標高、近くの既設建物などのアプローチの標高および橋からの離れ具合などによっても左右される故、複雑で場合によれば、不陸すら生じている。

図-1の縦断形状は、調査対象とした橋の実測図(縦横比1:10)であり、故意に複雑な形状を選んだ訳でもない。また、散布図(図-15)によれば、平均勾配は似ていても最急勾配は全く異なる場合が多い事が理解される。

ロ. 始点と終点は本報独自の定義によっている。

図-1に示すように、3%を越す点を始点とし、頂点を終点とし、その間の高低差なり勾配を定義している。

また、実在する橋では、お互いに勾配要素間の関係が同一になる例は皆無に近いので、説明変数に使用可能と判断した。対象とした橋には、一般的に横方向からの進入道(脇道)があり、その部分で歩道部は切り下げが行わ

れるのが普通である。図-1によって説明すれば始点Aの左側にR(脇道)があり、その左側に歩道の切り下げが見られ、そこに最急勾配(15%)が生じている。左岸のR(脇道)に対しても切り下げが行われている事は認められるが、右岸のそれよりは長い区間でスリ付けられているので、右岸の15%よりは小さくなっている事が分る。図-1では、縦断曲線の始点Aは右岸の脇道Rの始まる付近に生じ、左岸のそれは脇道Rの終り付近に生じている。他の橋の実測例によれば、最急勾配の発生原因である脇道より、さらに手前に曲線の始点(3%を越す地点)が発生している場合の方が多く見られる。ただし、図-1のように脇道Rの左又は右に始点のある例も若干ある。

また、相関の高さが予見される高低差と平均勾配との関係でも図-17によれば相関係数 $R=0.647$ であった。これは似た幅員の川に架かる橋でも、橋ごとに交差する脇道や民家の敷地高などの兼合いで、勾配の区間長や高低差が異なり、相関が低くなるのである。最急勾配の大きさは、平均勾配の区間に比べて、局所的なもので橋ごとに脇道の位置、その他イ. に記した兩岸の状況により決まるもので、平均勾配の大小や、高低差の大小とも独立した変数である事が理解出来る。

以上のような考察の結果、数量化Ⅱ類による解析結果を以下に説明する「橋の渡り難さ」の評価に生かすものとした。

4.1 評価方法

本法の特徴としては、「渡り難い橋」というのは、表-9の5項目中4項目以上に×印が付く場合であるとしたことである。

逆にいえば、○印が5項目中2項につけば、渡り易い橋と評価してもよいとしたことである。

これは、設計時において、5項目中若干の項目は避けられない事情により、やむなく目標値より悪くならざるを得ない場合、他の項目を良くすることにより若干救われるケースがあるとしたことである。

たとえば、一項目たりとも、違反を許さないとする規定を作るならば、一項目なら許してもよい場合に較べれば当然、項目ごとに規定をゆるくしておかなければならないであろう。一項目も例外に許さない判定方法ならばたとえば、歩道幅を「最低4.0mとする。」とすれば、実在の橋のほとんどが、渡り難い橋ということになってしまうであろう。故に、目標値をたとえば、現行法令などとの兼合いで2.0mなどと下げなければならないであろう。しかし、それではアンケートによれば3人に1人以上の人が狭いと感じてしまうのである。だから、しきい値としては4.0mなどとしておいて、他の項目との総合判定とした方がよいと思われる。

故に、著者らは、「一つ一つの項目について、合否のしきい値は厳しくする代わりに、一つ二つの不具合はあっても、全体的に許容し得るならば、渡り易い橋として認めよう。」という基本方針を採用したのである。

(1) しきい値

(以下に示す数値より条件の良い場合を○, それ以外を×とする. 5番目の項目は3者分離のときのみ○とする)

数量化Ⅱ類の結果を参考にして勾配の代表に, 平均勾配, 高低差, 最急勾配を用い, それに歩道幅, さらに, 恐怖感の代わりに, 交通手段ごとに通行帯が完全分離されているかどうかを判別指標に採用した. 判別指標に採用したしきい値としては, 平均勾配, 高低差, および最急勾配については, 参考文献1)の表-5に示された数値を用いている. 歩道幅については, 本稿の表-5に示された数値を用いている. 分離状態は現地調査より判断した.

- 1. 平均勾配は3.5% 2. 高低差は2.0m
- 3. 最急勾配は8.0% 4. 歩道幅は4.0m
- 5. 自転車, 歩行者, 車道が各々ガードレールなどで完全分離

(2) 判定方法

○印が2個以上あれば渡り易い橋とする.

表-9 橋の渡り易さの簡略な評価方法

橋名	平均勾配 3.5% 以下	最急勾配 8% 以下	高低差 2m 以下	歩道幅 4m 以上	完全分離	判定	アンケート結果
①	×	×	×	○	×	×	×
②	○	○	○	×	×	○	○
③	×	○	×	○	○	○	○
④	×	○	×	×	×	×	×
⑤	×	○	×	○	×	○	○
⑥	○	×	×	×	×	×	×
⑦	×	×	×	×	×	×	×
⑧	○	○	×	×	×	○	○
⑨	×	○	×	×	×	×	×
⑩	×	○	×	×	×	×	×
⑪	×	○	×	×	×	×	×
⑫	×	×	×	×	×	×	×
⑬	×	×	○	×	×	×	×
⑭	○	○	○	×	×	○	○
⑮	○	○	○	○	○	○	○
⑯	○	○	○	○	○	○	○

注) ×: 悪い条件を満足している場合, または渡り難い橋
○: 条件を満たしている場合, または渡り難くない(渡り易い)橋

5. 渡り難さの改善策

5.1 マウンドアップをなくする

今, 仮りに現在の歩道部を25cm下げたと仮定して(勿論, 車道部とは分離構造をとるものと仮定して)試算すれば, 表-10に示すように3橋は判定が×印から○印に好転する

表-10 歩道を現状より25cm低くした時の評価

橋名	平均勾配	最急勾配	高低差	歩道幅	分離	判定	アンケート結果
①	×	○	○	○	×	○	×
②	×	○	○	○	×	○	○
③	×	○	×	○	×	○	○
④	×	○	×	×	×	×	×
⑤	×	○	×	×	×	○	×
⑥	○	○	×	×	×	○	×
⑦	×	○	×	×	×	×	×
⑧	○	○	×	×	×	○	○
⑨	×	○	○	×	×	○	×
⑩	×	○	×	×	×	×	×
⑪	×	○	×	×	×	×	×
⑫	×	○	×	×	×	×	×
⑬	×	○	○	×	×	○	○
⑭	○	○	○	×	×	○	○
⑮	○	○	○	○	○	○	○

注) ×: 悪い条件を満足している場合, または渡り難い橋
○: 条件を満たしている場合, または渡り難くない(渡り易い)橋
◎: マウンドアップ除去によって改善されたもの

(表には◎)で示した). アンケートで渡り難いと評価された9橋の内3橋が評価が好転することになる.

このことから, 橋を渡り難くしている原因の一つは, マウンドアップであると考えられる.(表-10 参照)

5.2 橋の頂点を下げる

渡り難いと評価されている橋9橋について, 実現の可能性は別にして, さらに各々頂点の高さをマウンドアップ分+25cm切下げられたと仮定すれば, 更に2橋, ⑩と⑬の平均勾配が改良されて全部で5橋の評価が好転することになる.(表-11参照)

表-11 歩道を現状より25cm低くし更に頂点を25cm低くした時の評価

橋名	平均勾配	最急勾配	高低差	歩道幅	分離	判定	アンケート結果
①	×	○	○	○	×	○	×
②	○	○	○	×	×	○	○
③	×	○	○	○	×	○	○
④	×	○	×	×	×	×	×
⑤	×	○	○	○	×	×	×
⑥	○	○	○	×	×	◎	×
⑦	×	○	×	×	×	×	×
⑧	○	○	○	×	×	○	○
⑨	×	○	○	×	×	◎	×
⑩	×	○	×	×	×	×	×
⑪	◎	×	×	×	×	◎	×
⑫	×	○	×	×	×	×	×
⑬	◎	×	○	×	×	◎	×
⑭	○	○	○	×	×	○	○
⑮	○	○	○	○	○	○	○
⑯	○	○	○	○	○	○	○

注) ×: 悪い条件を満足している場合, または渡り難い橋
○: 条件を満たしている場合, または渡り難くない(渡り易い)橋
◎: マウンドアップ除去と頂点を低くしたことによって改善されたもの

勿論, 橋による交通上の不具合の影響がある場合とか, 小さい橋についてまで, マウンドアップの撤去や切り下げを推奨している訳ではないが, 歩道部を車道部から, 頂点をわずか25cm切り下げることによって多くの橋の評価が良くなるとすれば, 特に新橋設計時には, 技術者として, 構造上の努力を払う価値があるし, また, そのために, 構造上や分離設備用に若干のコスト増が必要だとしても「人にやさしい橋」に向けて歩道部の頂点を下げることは非常に有利であることを指摘したい.

6. おわりに

著者らは, 橋の渡り易さについて, 現橋の改善もしくは新規設計時に評価が行える簡単な方法を表-9のように提案する.

なお, 評価に影響する他の要因との関係などの分析については今後の課題とする. 最後にこれらの調査, 分析に御協力頂いた徳島大学工学部学生(当時)藤田幸氏, 三宅正徳氏, 西尾有美子氏, 高橋敬治氏および徳島大学技官の宗田和之氏他関係各位に謝意を表します.

参考文献

1) 神田睦, 宇都宮英彦, 長尾文明: 橋の歩道部の縦断勾配の捉え方, 構造工学論文集, 土木学会 Vol. 43A, pp553-560, 1997. 3.
2) 神田睦, 宇都宮英彦, 長尾文明, 西尾有美子: 渡り易い橋の条件について 第2回四国支部技術研究発表会 講演概要集, 土木学会四国支部, pp120-121, 1996. 5.
3) 古谷野亘: 数学が苦手な人のための「多変量解析ガイド」調査データのまとめかた, 川島書店, 1988. 9.
(1999年9月17日受付)