

有事避難時の橋梁必要量の検討

Examination of the required number of bridges for an emergency evacuation

リバーフロント研究所 主席 研究員 江橋 英治

本研究は、洪水等の大規模災害時の避難行動に着目した河川橋梁の必要量について検討したものである。現在、河川の橋梁は、一般に平常時の活動、主に自動車交通量に従って整備されているが、大災害等の非常時には、渡河避難のための施設として利用されることになる。このため例え避難が必要となる災害等の発生の確率は低くても、避難に問題なく対応できるようにすることが必要と考えられる。

本研究では、この観点から、大災害等の有事の避難確保に必要とされる橋梁の密度（橋梁幅に対応した設置間隔）の計算式を提案した。この計算式の考え方は、整然と避難が開始されるという条件のもと、橋梁部がボトルネックとならないことを確保するための橋梁密度を計算したものである。

この式に基づき、徒歩による避難について、厳しい条件で試算したところ、都市部における渡河避難が想定される大規模河川については、2km毎には相当規模の橋梁があるべきと試算でき、東京圏・大阪圏では自動車専用道も徒歩避難に活用できるなら、概ね充足できていることを確認した。また、計算式を自動車による避難に適用することで、自動車避難が可能な限度を示し、地方などの市街地が連続していない地域における自動車避難対応の可能性を明らかにした。

キーワード：洪水、大規模災害、避難、大川、橋梁、ボトルネック

This study examines the required number of river bridges with emphasis on evacuation behavior in times of large-scale disasters, such as flood. At present, river bridges are generally constructed according to activities at normal times, mainly automobile traffic volume. However, they may be used as facilities for river crossing and evacuation in an emergency, such as a large-scale disaster. Therefore, even if there is only a low probability of occurrence of disasters that require evacuation, it is necessary to ensure that bridges can respond to them.

This study suggests a formula for calculating the density of bridges (installation interval based on bridge widths) which is required to ensure that evacuation goes smoothly in an emergency, such as a large-scale disaster. The calculated density would allow smooth and orderly evacuation, and prevents bridges from becoming a bottleneck.

Based on this calculation, the ideal density of bridges under strict conditions was calculated on the assumption that people evacuate on foot. In the case of large-scale rivers in urban areas, in which evacuation by river crossing is expected, it is estimated that substantial bridges should be installed at a 2-km interval. It was also confirmed that the number of bridges in the Tokyo and Osaka Regions is almost sufficient to satisfy needs as long as bridges now exclusively for automobiles could be used for evacuation on foot. In addition, the formula was also applied to evacuation by car in order to calculate the limit that allows evacuation by car, and to clarify the possibility of evacuation by car in such areas as rural areas where residential districts are disconnected.

Key Words : Flood, large-scale disaster, evacuation, large river, bridge, bottleneck

1. はじめに

地球温暖化等の気候変動は、降雨の激化をもたらすとの報告等から、大規模水害に対する適応策の必要性が近年話題となることが多くなっている。従来の論調は、災害を防ぐという対応での治水施設整備が中心であったが、想定災害の大規模化、治水投資の限界等から、ハザードマップの整備など、災害が発生した場合の人命確保が重要な論点となってきている。

これまで大規模河川の橋梁については、道路整備の観点から計画されることが一般的であり、基本的に平常時を想定した自動車交通のネットワーク確保が基本的な考え方であると言える。また、歩行者の観点からは、橋を架ける場合の歩道の幅等の基準はあるが、基本的に平常時の利用を想定したものである。

しかしながら、都市部における大河川は、市街地の分断要因であり、緊急時に渡河できることは安全確保上重要である。例えば、次のような非常事態において、大河川を渡河できることは住民の安全上、重要と考えられる。

- 大震災等に伴う大規模火災での避難（関東大震災、太平洋戦争に空襲に伴う火災等での事例がある。）
- 大河川の洪水時に上流等が破堤した場合の破堤していない対岸への避難又は予防的避難
- 高潮による浸水対応又は予防対応としての避難
- 地震に伴う破堤でのゼロメートル地帯の浸水対応又は予防対応としての避難
- その他の不測の有事避難

このような観点では、大規模河川の橋梁は密度高く、多量にあるほど好ましいが、行政的な施策としての対応を考えるには、目安となる目標値が必要である。

即ち、洪水などの緊急時において、人命確保上、現実的に必要となる橋梁密度（緊急時に安全に渡河できる橋梁の幅員の割合）を明らかにし、それを目標として橋梁整備を行うことができれば、住民の安全性の確保につながると考えられる。

本研究は、その目標値を検討したものであり、もともと、ゼロメートル都市における水害避難の観点から検討した内容を汎用的に再整理したものである。

2. 緊急時の避難を想定した橋梁の密度

2-1 施策の基本的考え方

橋梁を渡河しての避難を想定する。例えば、海拔ゼロメートル地帯等で、洪水の侵入が起これば避難命令が出た場合等は、避難対象者の全てについて、橋梁を渡河して避難が必要となる。

橋梁での避難は、橋梁に到達した者が順次わたって

避難するという形式になると考えられる。従って、橋詰めに多量な人数が集まって待っており、人数が集まってから、それを規定時間で渡河させるといった、連絡船のような考え方は必要ない。このため、順次到着する避難者を効率よく捌けることを条件とした。想定としては、避難命令等の避難スタートが同時に発生するとして、橋梁に到着する順での避難を検討する。

このような順次避難において、避難橋梁がボトルネックとなるとすると、避難時間が長期化するのみでなく、橋詰め付近で避難する者の渋滞が生じ、事故や混乱の原因となる可能性もある。特に、上流の破堤で洪水が押し寄せてきており避難時間が命をわけるといった状況の中で、橋詰めでの渋滞が生ずるとすると、大混乱になるとも考えられる。このため、ボトルネックとなる可能性（条件）を検討した。

なお、順次避難を前提とした場合、全く渋滞が生じないという条件が満たせれば、最短時間での避難が確保できることにも対応することとなる。

2-2 避難モデルによる渋滞条件

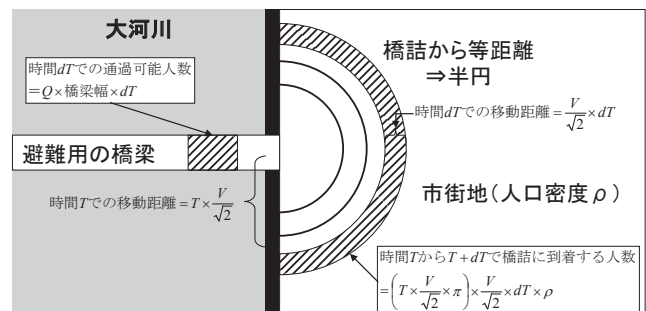


図-1 橋梁避難の概念

橋梁の避難は、歩行スペースと歩行速度によって通過可能量が決まる。歩行スペースの幅をW (m)、長さ（歩行者間隔）をD (m)、歩行速度をV (m/s)とすると、単位幅当たりの容量Q (人/ms) は以下の様に書ける。

$$Q = V / (D \times W)$$

歩行避難の発生は、避難命令等の発令後、同時にスタートするとして検討する。実際は避難準備、集団の形成等のために、出発時間は若干の差異が生ずると考えられるが、以下のモデルにおいては、その差異は「待ち行列」の発生に留まるため、橋詰めでの停滞（若干の渋滞）は生ずるが、渋滞列が長くなる状態かどうかの判定に差異は生じないと考えられる。

避難における市街地での歩行速度は、道が曲がっていること等による迂回を勘案して $V/\sqrt{2}$ を用いることとする。

この仮定での橋梁に同時に到着する範囲は、図-1

のように同心円で示される。市街地における避難対象者の平均（人口）密度を ρ として計算すれば、時間 T 秒から $T+dT$ 秒に到達する人数 $X \times dT$ は、以下の通りとなる。

$$\begin{aligned} X \times dT &= \left(T \times \frac{V}{\sqrt{2}} \times \pi \right) \times \frac{V}{\sqrt{2}} \times dT \times \rho \\ &= \frac{\pi}{2} \times \rho \times V^2 \times T \times dT \end{aligned}$$

ここで $X \times dT$ が橋梁の容量と同じになった時点以降は、到達する人数が橋を通れる人数を超すため、渋滞が発生し、その行列は長くなり続ける。この同じになったときの条件は以下の通り書ける。

$$\begin{aligned} Q \times \text{橋梁幅} &= \frac{V \times \text{橋梁幅}}{D \times W} = \frac{\pi}{2} \times \rho \times V^2 \times T \\ \text{橋梁幅} &= \frac{\pi}{2} \times D \times W \times \rho \times V \times T \end{aligned}$$

この渋滞が発生する時の $T \times V / \sqrt{2}$ は、避難橋梁から同距離の同心円（半円）であるから、これを R （渋滞が生ずる半径）と書けば、以下の式が成り立つ。

$$R = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \times \frac{1}{D \times W} \times \frac{1}{\rho} \times \text{橋梁幅}$$

この渋滞半径 R が、隣の橋梁の渋滞半径に接するか、また、避難範囲の縁に達すれば、概ね渋滞なく避難が可能になると考えられる。従って、渋滞のない避難を可能にする橋梁密度を b （標準 b ）と書けば、

$$\text{標準}b \geq \frac{\text{橋梁幅}}{2 \times R}$$

が成り立つ必要があるから、以下の様に書ける。

$$\text{標準}b \geq \frac{\pi \times D \times W \times \rho}{2 \times \sqrt{2}}$$

なお、 b は比率として示したが、渋滞半径 R は、既存橋梁のサービス可能範囲に相当するので、既存橋梁からの幅を図示することで、避難上の橋梁の不足箇所をあぶり出すことができる。

2-3 渋滞条件の限界値とその意義

渋滞半径 R は、半円での計算であるが、橋梁が近接して競合する場合は、扇型として同様に計算できる。その場合の式は以下の通り。

$$R(\text{扇型}) = \frac{\text{中心角(度)}}{180 \text{度}} \times \frac{\sqrt{2}}{\pi} \times \frac{1}{D \times W} \times \frac{1}{\rho} \times \text{橋梁幅}$$

この扇型の渋滞半径を、橋梁の避難歩行者容量を前提として開角を変化させ、堤防と直角方向（概ね橋軸方向）に延長していくと、図-2の様になる（図-2は $R=1$ として半分を表示）。即ち、半径の増加に伴い、扇型は直線に近くなるため、 $R \times \pi/2$ に漸近する。

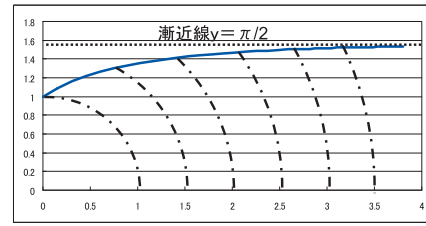


図-2 同一時間での橋詰到達範囲の変化

隣接する橋梁の存在を前提に、避難を分担するとした場合、奥行きが長い場合にあっては、この漸近線が分担線より離れていた場合（分担線 $> R \times \pi/2$ ）には渋滞は常に拡大し、近い場合（分担線 $< R \times \pi/2$ ）には渋滞は一定量から解消に向かい、漸近線と一致する場合（分担線 $= R \times \pi/2$ ）には渋滞は一定量で継続することになる。これを限界半距離として計算し、奥行きが深い市街地における最小の橋梁密度（避難時歩行用確保幅）と考えることができる。その場合の橋梁密度を「限界 b 」とすれば、以下が成り立つ。

$$\text{限界}b = \frac{D \times W \times \rho}{\sqrt{2}}$$

これは、橋梁位置を考慮せずに、平均的歩行速度（橋梁通過時の速度の $1/\sqrt{2}$ ）で河岸に達する人数を捌ける橋梁幅を単純に避難対象者密度から計算した値に相当する。

3. 必要となる橋梁密度の試算

3-1 徒歩避難に係る試算の前提

試算は東京都内の大規模河川の徒歩避難をイメージして行う。試算上必要となる数字は、 D 、 W 、 ρ である。

建築設計資料集成において、「歩行動作をスムーズに行うために必要なある程度の余裕を見込んだスペース」として歩行帯が示されており、幅（ W ）として、70cm、縦方向には、日本人の平均歩幅75cmに対し歩行帯として、100～120cmが図示されている。

また、道路構造令の解説と運用においては、「歩行者の占有幅は0.75mを標準とする」とされており、これに基づいて歩道幅等が決まっている。

これらの点から、避難時における密集状況での D 及び W を次の通りとして試算する事とする。

$$D=1.0\text{m}$$

$$W=0.75\text{m}$$

また、東京都の区部における平均人口密度は139人/haであり、最も密度の高い中野区で200人/haであり、最も低い千代田区で38人/haである。一方で、高層住宅等への避難（残留）が可能と想定すれば、避難対象者は人口の一部となるが、避難後の兵站可能性の問題もあることから、安全側の仮定として全人口避難と考

えることとし、避難対象者密度 ρ については、0.015 人/㎡を標準に、以下の値で試算する。

$$\rho = 0.01 \sim 0.015 \sim 0.02 \text{ 人/㎡}$$

3-2 徒歩避難試算結果の評価

これに基づき計算すると以下の表-1の通りとなる。

表-1 避難対象者密度毎の橋梁必要割合

| | 100人/ha | 150人/ha | 200人/ha |
|-----|---------|---------|---------|
| 標準b | 0.00833 | 0.01250 | 0.01666 |
| 限界b | 0.00530 | 0.00795 | 0.01061 |

また、都区部での大河川に係る一般道の橋梁の間隔は、0.5～4km程度であるが、この程度の橋梁間隔に対応した避難時歩行者通行必要幅（標準bに対応）は以下の表-2の通りと試算される。

表-2 橋梁間隔に対応した歩行避難橋梁必要幅

| 橋梁間隔 (km) | 歩行者避難必要幅 | | |
|--------------|----------------|----------------|----------------|
| | 100人/haの 場合 | 150人/haの 場合 | 200人/haの 場合 |
| 0.5 | 4.2m | 6.2m | 8.3m |
| 1.0 | 8.3m | 12.5m | 16.7m |
| 2.0 | 16.7m | 25.0m | 33.3m |
| 4.0 | 33.3m | 50.0m | 66.6m |

従って、中欄の避難対象者密度150人を前提とすれば、0.5km間隔であれば概ね現行の歩道幅程度で対応でき、2km程度までであれば車道部も含めて歩行者避難に供すれば対応できる。一方で、橋梁間隔が4kmも離れていれば、橋梁での避難に支障があるといえる。

首都圏、大阪圏の大河川の橋梁整備現況を概観すると、自動車専用道路も含めることで2kmに1本程度の橋梁は存在する。従って、自動車専用道路等も避難に供するような対応を検討するか、例え自動車交通対応として十分であるにしても、新たな橋梁整備を行うことによる緊急時の安全性向上が適当と考えられる。

なお、歩行避難時においても、病人、歩行困難者の避難等に緊急自動車の通行の確保が必要とするのであれば、概ね1km間隔で、4車線橋梁が必要と言える。

かつての考え方では、住宅型市街地についての近隣住区の考え方から幹線道路密度は、4km/㎢（幹線道路と補助幹線道路が各々2km/㎢）とされていたが、この場合、幹線道路は1km間隔、補助幹線道路はその中間で配置されることになる。

この試算結果から、全人口避難が必要と想定するならば、例え河川左右岸の生活圏の密接性が薄く平常時の交通対応としては不要であっても、1km間隔で配置さ

れるはずの幹線道路には橋梁を整備することで、各種災害時等の有事の安全向上に繋がると考えられる。

3-3 自動車避難試算

同様に自動車避難についても検討可能である。橋梁に連続する道路沿道に細長い市街地がある場合での、自動車避難可能性を試算する。2車線橋梁があり、避難時に一方通行規制をかけるとして片方向2車線避難が可能と想定する。W=3m（車線幅）、D=10m（時速30kmとして3000台/車線となる値）とし、乗車人数を3人/台とする。車での橋梁での渋滞なしの避難可能な沿道市街地の幅（道路を挟んだ両側の幅）は、避難対象者密度との関係から表-3のように試算される。

表-3 避難対象者密度毎の自動車避難可能市街地幅

| | 100人/ha | 150人/ha | 200人/ha |
|-----|---------|---------|---------|
| 標準b | 54.0m | 36.0m | 27.0m |
| 限界b | 84.9m | 56.6m | 42.4m |

これらの値は表-2で示した橋梁間隔に比較して相当小さく、広がりのある一般的な市街地での自動車避難が橋梁容量の観点でも不可能であることが試算上明らかである。しかしながら、地方部の街道型の街並みで街並みの厚みが薄い場所であれば、自動車避難も可能であり、その可否の判断のために、この関係式での計算が可能といえる。

4. おわりに

近年、内閣府中央防災会議において、平成22年4月2日「大規模水害対策に関する専門調査会報告」が発表されるなど、各種災害に対する危険性・被害の大きさが再認識されつつある。避難といった、通常はソフト対策に分類される施策についても、施設対応の必要性がある。本検討のような検討を通じて、その認識が深まり、国民の安全につながる施設整備が進むことを期待するものである。

<参考文献>

- 1) 日本建築学会編：建築設計資料集成3 単位空間 I 第3刷（昭和62年）
- 2) 社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用（平成16年）
- 3) 東京都統計年鑑 平成19年