

活荷重シミュレーションを用いた道路橋における曲げとせん断の安全性比較

中央大学 学生会員 ○山田 弥生
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

構造物の壊れ方には脆性破壊と延性破壊がある。粘りをもつ延性破壊の具体的なものとして、鉄筋コンクリート構造物の曲げによる破壊が挙げられる。反対に、粘りをもたない脆性破壊の例として、せん断による破壊が挙げられる。構造物が被害を受けた際に、大きな損傷に至るのはほとんどが粘りのないせん断破壊である。そのため、構造物が破壊に至る際には、曲げ破壊が先行することが望ましいとされている。

しかし、大きな曲げモーメントが生じる荷重状態と大きなせん断力が生じる荷重状態とは必ずしも大きな相関があるわけではなく、信頼性設計の観点からはせん断破壊に対する破壊確率が、曲げモーメントに対するものよりも十分小さいことが求められる。本研究では、鉄筋コンクリートの道路橋に車輛が多数乗ることによって破壊に至る場合、粘りをもつ曲げ破壊となるためには、どのような設計をすればよいかを検討し、提案することを目的とする。

2. 研究概要

本研究では対象として、スパン $L=10, 20, 30\text{m}$ の 3 パターンの単純支持 RC の道路橋を想定する。

研究手順として、道路橋示方書¹⁾に基づいて、活荷重や死荷重を算出し、各スパンにおける最適な断面を決定する。決定した断面における設計曲げモーメント M_d 、支点における設計せん断力 $Q_{d \text{ 支点}}$ 、支間中央における設計せん断力 $Q_{d \text{ 中央}}$ （以下、それぞれ M_d 、 $Q_{d \text{ 支点}}$ 、 $Q_{d \text{ 中央}}$ とする）を算出する。算出した値を表-1 に示す。さらに、コンクリートの道路橋に作用する曲げモーメント M_{real} と支点におけるせん断力 $Q_{\text{real 支点}}$ 、支間中央におけるせん断力 $Q_{\text{real 中央}}$ （以下、それぞれ M_{real} 、 $Q_{\text{real 支点}}$ 、 $Q_{\text{real 中央}}$ とする）を、モンテカルロ法を用いた活荷重シミュレーションにより、算出する。その際に使用する活荷重の不規則要因として、車種、大型車混入率、車重、車長、車輛配置などの不規則性を考慮する。そして、算出した M_d と M_{real} 、 $Q_{d \text{ 支点}}$ と $Q_{\text{real 支点}}$ 、 $Q_{d \text{ 中央}}$ と $Q_{\text{real 中央}}$ を比較し、粘りのある曲げ破壊となるように安全係数の設定や設計荷重の見直しを行う。

3. 研究結果

3.1 M_{real} 、 $Q_{\text{real 支点}}$ 、 $Q_{\text{real 中央}}$ の算出

ランダムに車輛を通行させ、それに伴う活荷重を算出できるように活荷重シミュレーション（図-1）を行った。その際、車種は、乗用車、小型トラック、中型トラック、大型トラック、大型ダンプ、タンクローリー、セミトレーラー、大型バスの 8 種とし、それぞれの基本的な特性を表-2 に示す。また、大型車混入率は 32.5、40、60% とし、各車種の混入率も表-2 に示す。ま

表-1 M_d 、 $Q_{d \text{ 支点}}$ 、 $Q_{d \text{ 中央}}$

スパン	支間中央における設計曲げモーメント (kN・m)	支点における設計せん断力 (kN)	支間中央における設計せん断力 (kN)
10m	885.31	354.12	154.11
20m	2124.22	424.84	168.69
30m	3673.33	489.78	182.17

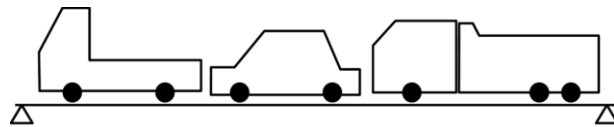


図-1 活荷重シミュレーション

表-2 各車種の基本特性と混入率

	車種	車長 (m)	平均重量 (N)	車輪数 (個)	大型車混入率 (%)		
					32.5	40	60
小型車	A	4.4	130	4	55.1	49.0	31.2
	B	4.4	352	4	12.4	11.0	8.7
大型車	C	5.0	519	4	13.1	16.1	5.4
	D	8.5	1675	6	10.3	12.7	4.0
	E	7.5	1952	6	3.0	3.7	14.7
	F	8.0	1382	6	1.7	2.1	27.1
	G	14.0	2478	10	3.4	4.2	3.4
	H	10.5	1384	4	1.0	1.2	5.5

A:乗用車, B:小型トラック, C:中型トラック, D:大型トラック
E:大型ダンプ, F:タンクローリー, G:セミトレーラー, H:大型バス

表-3 超過確率の結果

スパン	大型車混入率	曲げモーメント超過確率	支点におけるせん断超過確率	中央断面におけるせん断超過確率
10m	32.5%	0.197%	0.000%	0.000%
	40.0%	0.227%	0.000%	0.000%
	60.0%	0.949%	0.000%	0.000%
20m	32.5%	0.598%	0.293%	0.000%
	40.0%	0.762%	0.384%	0.000%
	60.0%	1.462%	0.970%	0.000%
30m	32.5%	0.916%	0.623%	0.219%
	40.0%	1.227%	0.750%	0.300%
	60.0%	2.902%	2.030%	0.742%

ず、車種、車重をランダムで決定し、 M_{real} 、 $Q_{\text{real 支点}}$ 、 $Q_{\text{real 中央}}$ を算出した。その際、 $Q_{\text{real 中央}}$ は突発渋滞を想定して、道路橋の半分（影響線の方の符号の側）のみに車輛が乗っていると仮定する。そして、算出した M_{real} 、 $Q_{\text{real 支点}}$ 、 $Q_{\text{real 中央}}$ を M_d 、 $Q_{d \text{ 支点}}$ 、 $Q_{d \text{ 中央}}$ と比較し、どれほどの割合で超過しているのかを算出した。超過確率の結果を表-3 に示す。中央におけるせん断超過確率は、

キーワード 活荷重 脆性破壊 道路橋

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL.03-3817-1816 FAX.03-3817-1803

支点におけるせん断超過確率よりも小さく、せん断力に関しては支点におけるせん断力の方がより大きな影響を与えていることがわかる。また、スパンが長いほど超過確率が高くなっていることがわかる。

3.2 超過した際の車種

M_{real} , Q_{real} 支点が M_d , Q_d 支点を超えたときの車種がどのように並んでいるかを調べ、結果を図-2, 3に示す。表-3において、最も超過確率の高かったスパン 30m の道路橋に大型車混入率 60%で車輛が通行することとして、超過した際の車種の並び順のシミュレーションを 3 回繰り返し、その結果を並べて示したが、ほとんど相違はなかった。

この結果から、 M_{real} が M_d を超過したとき、約 80% の確率で中央に大型ダンプが位置していることがわかる。また、1, 5, 6 台目に大型ダンプが位置することはほぼないことがわかる。 Q_{real} 支点が Q_d 支点を超過したときは、約 80% の確率で 1 台目に大型ダンプが位置していることがわかる。また、3 台目以降に大型ダンプが位置することはほぼないことがわかる。このため、この位置に大型ダンプがある条件を固定する重点サンプリング法で再度シミュレーションを行った。

3.3 重点サンプリング法を用いた超過確率の算出

曲げモーメントを考えるにあたっては中央に大型ダンプが載荷された場合、せん断力を考えるにあたっては 1 台目に大型ダンプが載荷された場合を条件として、その他の車輛をランダムに決定し、超過確率を算出した。そして、その超過確率と仮定した大型ダンプの載荷条件が起こる発生確率を曲げモーメント、せん断力それぞれにおいてかけあわせた結果を図-4, 5に示す。大型車混入率が大きくなるにつれて、曲げモーメント、せん断力、共に超過確率が増加していることがわかる。また、スパンが大きくなるにつれて、曲げモーメントの超過確率は減少し、せん断力の超過確率は増加することがわかる。そのことから、大型車混入率が大きいとき、鉄筋コンクリートの道路橋のスパンが長くなるにつれて、曲げモーメントの超過確率とせん断力の超過確率の比は小さくなっていくことがわかる。スパン 20m では 30~40 倍であるのが、スパン 30m では 10~20 倍となった。

4. おわりに

本研究では、スパン $L=10, 20, 30m$ の 3 パターンの鉄筋コンクリート橋を対象とし、大型車混入率を 32.5, 40, 60%として活荷重シミュレーションを行った。活荷重シミュレーションを行ったことで、作用する力が設計力を上回るときの条件を知ることができた。そして、その条件をあらかじめ設定し、その他の車輛をシミュレーションで決定する重点サンプリング法を行った。その結果から、大型車混入率が大きいとき、鉄筋コンクリートの道路橋のスパンが長くなるにつれて、曲げモーメントの超過確率とせん断力の超過確率の比は小さくなっていくことがわかった。

この比がどの程度であるべきかは、容易に答えの出ない問題であるが、脆性破壊を避けるという意味では 10 倍は最低限必要なところである。本研究では、適用スパンを考えて、条件を 30m に留めたが、長支間の条件下でもコンクリート橋の競争が高まってきた場合、

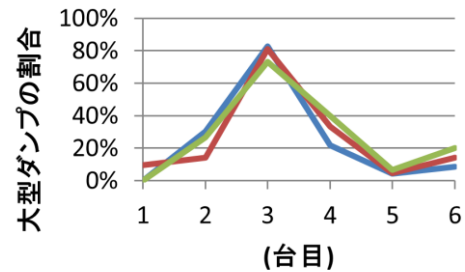


図-2 M_{real} が M_d を超過したときの大型ダンプの割合

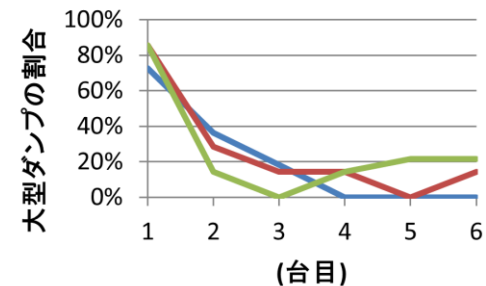


図-3 Q_{real} 支点が Q_d 支点を超過したときの大型ダンプの割合

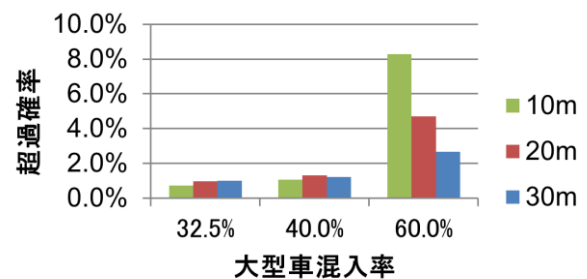


図-4 重点サンプリング法を用いた曲げ超過確率

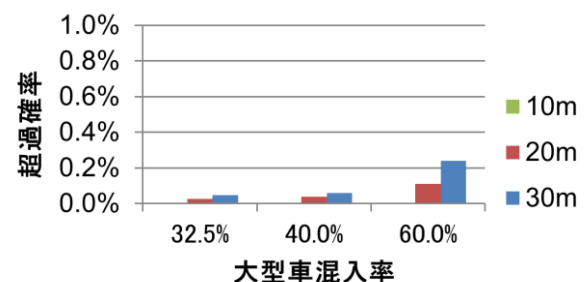


図-5 重点サンプリング法を用いたせん断超過確率

せん断に対する安全基準などに一考が必要になる場合もあると思われる。そのことから、スパンの長い鉄筋コンクリートの道路橋を建設する際、粘りのある破壊に至らせるために、せん断力の設計力を大きくするような設計をするべきである。

今後は、どのようにしてせん断力の設計力を大きくするかを検討し、提案していく予定である。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路橋協会：道路橋示方書(I 共通編・Ⅲコンクリート橋編)・同解説
- 2) 森猛, 李熙賢, 慶甲秀: 中小 2 車線鋼道路橋の構造特性を考慮した疲労寿命評価パラメータの検討, 構造工学論文集