I-283 歩道橋の３次元動的応答解析に関する一考察

北海道大学工学部　正員　小幡　卓司
北海道大学工学部　正員　林川　俊郎
㈱ 横河ブリッジ　正員　今　和也
北 海 道 開 発 局　正員　桑島　正樹

1．まえがき

近年、側道橋、人道橋、または遊歩道橋と称される歩道橋が、全国いたるところで盛んに建設されている。これらの歩道橋は従来の歩道橋に比べ、大規模なものが多い。したがって、もともと横断歩道橋のために作られた現行の設計基準[1)]による振動使用性の照査では、不備な点が多く、設計者に強い負担を与える場合がしばしばある。

海外におけるこの種の照査方法は、対象となる構造物の動的応答量を求め、その解と振動恕限度を比較することによって評価を行うのが、一般的である。まず、振動恕限度については、日本におけるその主な研究として、小堀・梶川の研究、三輪・米川の研究等があり、著者らも、ファジィ推論を用いた恕限度の定量的解析法を提案した[2)]。また、動的応答量に関しては、今日では電算機の発達により、計算そのものは特別に困難ではないと思われるが、歩行者の移動周期外力の取り扱いが意外と難しく、歩行者の衝撃力等の決めなくてはならないパラメータも多い。

したがって、本研究では有限要素法を用いた、２次元および３次元動的応答解析を行い、構造物のモデル化や歩行外力の取り扱い等の、このような振動使用性問題における動的応答量の求め方に関する検討を行ったので、その結果を報告するものである。

2．歩行者の移動周期外力

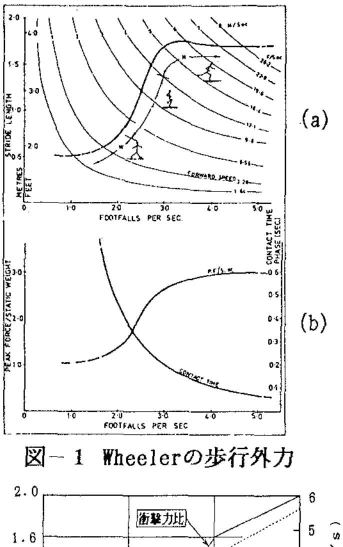
前述のとおり、歩道橋の動的応答量の計算を行うには歩行者の移動周期外力を求める必要がある。歩行外力の求め方は、各国においていくつかの方法が提案されているが、本研究では以下の２つの方法を用いることとする。

① オーストラリアの Wheeler が提案する歩行外力

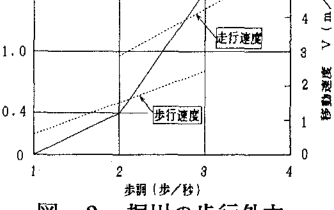
Wheeler[3)] は人間の歩・走行時の床面への衝撃について詳細に検討し、歩行外力を次のように定めた。まず、入力波としては半正弦波を用い、また衝撃力、衝撃作用時間、歩行者の歩幅等は、歩行周期をパラメータとした図によって与えている。図－１(a),(b)に歩行外力パラメータを示す。

② $F_0 \cos\omega t$を歩行外力として用いる方法

梶川[4)]は、歩道橋の振動を考えた場合、その構造が比較的単純であることから応答計算はいわゆるモード解析法で十分であるとした。歩行外力は歩行時の衝撃力を考慮して、外力振幅を F_0、また歩調をω（$= 2\pi f$, f：歩調、歩／秒）として、歩行者の移動周期外力を$F(t) = F_0 \cos\omega t$で表した。F_0は（F_0＝衝撃係数×体重）で与えられる。この衝撃係数と移動速度は、小堀・梶川の実験結果や、松本らの研究、BS5400、Blanchard の研究、さらには Wheelerの研究をも参考にしながら、図－２に示されるようなグラフによって提示されている[5)]。



図－１ Wheelerの歩行外力



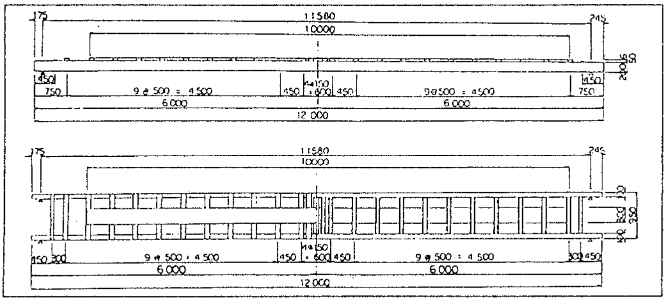
図－２　梶川の歩行外力

3．解析およびその結果

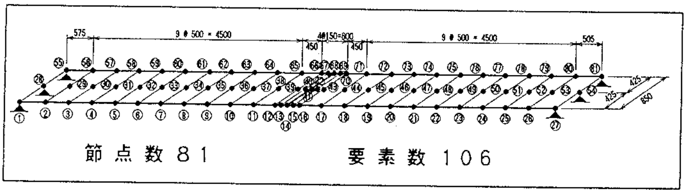
解析は、図－3に示すような歩道橋実験桁上を体重61kgの歩行者が単独で歩行する場合について、構造物のモデル化等を考慮した表－1に示す6タイプに対して計算を行った。多自由度系の強制振動を解析するための一般的な応答解析法には、モード解析法と呼ばれる方法と、直接数値積分法があるが、本研究ではニューマークβ法を用いた直接数値積分法を用いた。また、振動数の範囲は 1.5Hzから 5.0Hzとした。なお解析に先立ち、減衰定数を測定するため自由振動実験を行い、一次固有振動数 f= 3.91Hz、減衰定数 ζ= 0.008を得た。図－4に3次元モデルの骨組図を、表－2に本解析の解析結果を示す。

表－1　解析タイプ

No	解　析　モ　デ　ル
①	2次元モデル
②	3次元モデル
③	歩み板の剛性を20%考慮した3次元モデル
④	横桁剛性を考慮した3次元モデル
⑤	③＋足の踏み幅を考慮した偏心載荷モデル
⑥	④＋足の踏み幅を考慮した偏心載荷モデル



図－3　一　般　図



図－4　3次元モデル

表－2　解析結果（単位：m）

		1.5 Hz	2.0 Hz	2.5 Hz	3.0 Hz	3.5 Hz	3.8 Hz	4.0 Hz	4.5 Hz	5.0 Hz
type 1	Wheeler	.00389	.00965	.00722	.01093	.02967	.03660	.03203	.01612	.00703
	$F_0 \cos\omega t$	.00354	.00480	.00886	.01783	.05933	.09208	.08064	.03243	.01553
type 2	Wheeler	.00314	.00560	.00837	.01796	.03769	.02893	.02021	.00962	.00510
	$F_0 \cos\omega t$	.00374	.00527	.01090	.03182	.08653	.06328	.04072	.01677	.00930
type 3	Wheeler	.00342	.00813	.00623	.00946	.02267	.03087	.02704	.01367	.00600
	$F_0 \cos\omega t$	.00310	.00414	.00755	.01497	.04978	.07767	.06835	.02755	.01317
type 4	Wheeler	.00305	.00545	.00825	.00310	.03768	.02891	.02020	.00961	.00509
	$F_0 \cos\omega t$	.00363	.00518	.01077	.03159	.08650	.06322	.04068	.01676	.00928
type 5	Wheeler	.00377	.00878	.00637	.00959	.02269	.03102	.02736	.01411	.00630
	$F_0 \cos\omega t$	.00329	.00516	.00755	.01504	.04993	.07797	.06843	.02815	.01342
type 6	Wheeler	.00348	.00634	.00836	.01781	.03795	.02902	.02035	.00987	.00512
	$F_0 \cos\omega t$	.00411	.00684	.01089	.03176	.08689	.06340	.04071	.01690	.00959

5．あとがき

本研究では、歩道橋の振動使用性を照査するための動的応答量の求め方に関する検討を行い、次のような結果を得た。まず、歩行外力では$F_0 \cos\omega t$を用いた場合、Wheelerの方法に比較して応答量がかなり大きくなった。また、2次元モデルと3次元モデルを比較すれば、同一の桁剛性を用いると、3次元モデルでは固有振動数が若干低下する傾向が見られた。したがって、実際の歩道橋について3次元解析を行う場合、高欄、地覆等の剛性をある程度正確に評価する必要があると思われる。さらに偏心載荷の場合は、偏心の無い場合に比して約1㎜程度変位が増加し、最大値が主桁上で生じることが判明した。以上の結果より、一般の幅員の狭い横断歩道橋では、2次元解析でもある程度正確に動的応答量を求めることが可能であるが、側道橋、人道橋等の幅員が広く支間も長い歩道橋では、高欄、地覆等の剛性や歩行者の偏心の影響を考慮した、3次元モデルを用いた動的解析が有効であると思われる。

＜参　考　文　献＞

1) 日本道路協会：立体横断施設技術基準・同解説，丸善，昭和54年　2)小幡 卓司・林川 俊郎・桑島 正樹：歩道橋の振動使用性に関する一考察，構造工学論文集 Vol39A pp793～799,1993.　3)J.E.Wheeler.:Prediction and Control of Pedestrian-Induced Vibration in Footbridges., Proc. of ASCE, No ST9 pp2045～2065,1982.　4)梶川 康男：振動感覚を考慮した歩道橋の使用性照査法に関する考察，土木学会論文報告集第325号 pp23～33,1982.　5)梶川 康男・津村 直宣・角本 周：ＰＣ吊床版歩道橋の振動とその使用性，構造工学論文集 Vol36A pp685～695,1990.　6)小幡 卓司・林川 俊郎・今 和也・桑島 正樹：歩道橋の動的応答解析について，土木学会北海道支部論文報告集第49号 pp285～288,1993.