

1. はじめに

歩行者による動的応答解析を実施して歩道橋の振動使用性を検討する場合、当然のことながら歩行外力が必要になる。そこで、本研究では、著者が提案している、パワースペクトルを用いた歩行外力の簡易算定手法¹⁾を適用して、歩行にともなう鉛直歩行外力を計測するとともに、わが国ではほとんど研究がなされていない歩行外力の高次成分に着目して考察を加えた。

2. 歩行外力を把握するための歩行実験

男子学生 Na (173cm, 676N) が 20m の直線区間を歩いた場合に計測した、右腰部と左腰部の加速度波形 (120 回/分=2.0 回/秒に設定した電子メトロノームの発信音にあわせて歩行した実験結果) を FFT でスペクトル解析した。右腰部と左腰部におけるスペクトル解析結果をそれぞれ図-1、図-2に示す。これらの図より、右腰部のみならず左腰部についても、歩調の 2 倍, 3 倍に相当する成分に加え、歩調の 0.5 倍, 1.5 倍, 2.5 倍に相当する成分が含まれていることがわかる。そこで、右腰部と左腰部の鉛直波形を合計して平均した (2 で割った) 鉛直加速度波形をスペクトル解析することとした。その結果を図-3に示す。この図から、右腰部と左腰部の鉛直波形を平均した鉛直加速度波形には 0.5 倍, 1.5 倍, 2.5 倍などの周波数成分がほとんど含まれず、歩調成分に加え、2 倍成分や 3 倍成分などの整数倍の周波数成分のみが卓越していることがわかる。それゆえ、2 倍や 3 倍などの周波数成分は左右の腰部で同位相を呈する成分であるのに対し、0.5 倍, 1.5 倍, 2.5 倍などの周波数成分は左右の腰部で逆位相を呈する波形成分であると言える。なお、これは本研究で初めて明らかにされた知見である。

3. 歩行外力 (鉛直の衝撃力比) の算定

電子メトロノームの周波数を様々な値に設定して歩行実験を行った後、文献1)に示した手順にしたがって腰部での定常的な加速度応答 a を逆算すれば、歩行外力 (衝撃力比 α) は、重力加速度 g で除して算出することができる。ただし、ここでは、衝撃力比として、式(1)に示すように、海外で一般的に用いられている DLF (Dynamic Load Factor) で表示することとした。

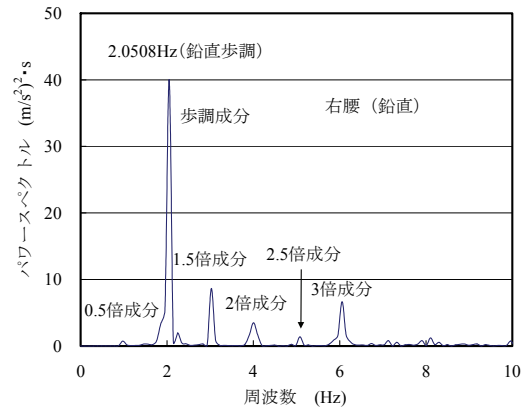


図-1 男子学生 Na の右腰部でのスペクトル解析結果

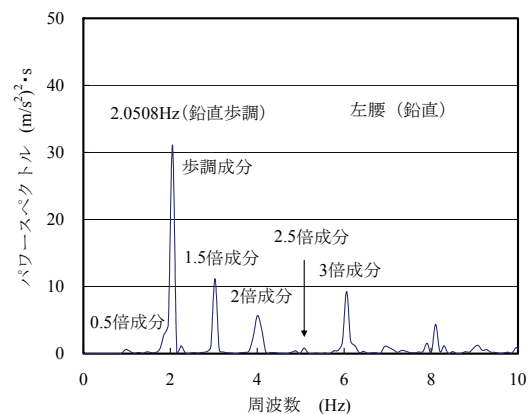


図-2 男子学生 Na の左腰部でのスペクトル解析結果

$$DLF = \frac{a}{g} = \alpha \quad (1)$$

以下、歩行外力の同位相成分と逆位相成分について、DLF をそれぞれ算定し、考察を加える。なお、DLF は、原則として、左右の腰部における鉛直加速度波形から求めた値を平均して算出するものとした。ただし、一方の腰部でしか鉛直加速度を測定していなかった実験当初のデータに対しては、一つの鉛直加速度波形から DLF を算出したが、前章で提示したように、左右の腰部でのスペクトル解析結果に大きな差異がないことに加え、加速度の大きさはパワースペクトルの平方根として求められることから、工学上、大きな問題はないと考えている。

(1) 同位相成分 (2 倍と 3 倍の成分)

同位相成分 (2 倍成分と 3 倍成分) に対する DLF の算定結果を図-4 に示す。なお、参考までに、この図には歩調の DLF に加え、梶川の提案している歩行衝撃力比も併記している。この図から、まず、算出した歩調成分の DLF は、歩調が大きくなるにしたがって増加しており、梶川の歩行衝撃力比とも比較的良く一致していることがわかる。これに対して、2 倍成分と 3 倍成分の DLF は、歩調成分と異なり、卓越周波数が大きくなっても明確な増加傾向は認められないこと、算出値のばらつきも大きいのが平均すると概ね 0.1 程度の値となっていることがわかる。なお、同位相成分の歩行外力は、歩行者の体重を W とすれば、

$$\text{歩行外力} = W \times \frac{a}{g} = W \times \text{DLF} \quad (2)$$

から算定できるとして差し支えない。

(2) 逆位相成分 (0.5 倍と 1.5 倍および 2.5 倍の成分)

逆位相成分 (0.5 倍と 1.5 倍および 2.5 倍の成分) に対する DLF の算定結果を図-5 に示す。この図からわかるように、ばらつきはあるものの、算出した 0.5 倍と 1.5 倍成分の DLF は、卓越周波数が大きくなるにしたがって増加する傾向が認められる。一方、2.5 倍成分の DLF は、卓越周波数が大きくなっても明確な増加傾向は認められず、算出値のばらつきも大きいのが平均すると概ね 0.05 程度の値となっていることがわかる。

ちなみに、逆位相成分は回転運動と見なすことができることから、左右の腰部での鉛直加速度が等しいものとしてこの値を a とおき、腰部の中心からそれぞれの 1/2 点に $W/2$ の体重があるものと仮定すれば、

$$\text{歩行外力} = 2 \times \frac{W}{2} \times \frac{a/2}{g} = \frac{W}{2} \times \frac{a}{g} = \frac{W}{2} \times \text{DLF} \quad (3)$$

のように算定できると推察される。それゆえ、DLF が同じ値であれば、逆位相成分の歩行外力は同位相成分の半分程度の大きさとなるが、1.5 倍成分の DLF は比較的大きな値も測定されており、その影響を無視できない場合も予想される。

4. まとめ

本研究は、パワースペクトルを用いた歩行外力の簡易算定手法を適用して、歩行にともなう鉛直歩行外力を計測するとともに、わが国ではほとんど研究がなされていない鉛直歩行外力の高次成分について考察したものである。今回の実験で得られた結果より、鉛直歩行外力の高次成分について、その大きさと特性を概ね把握できたことから、今後は実在の歩道橋を対象として歩行実験を実施し、鉛直歩行外力の高次成分に起因

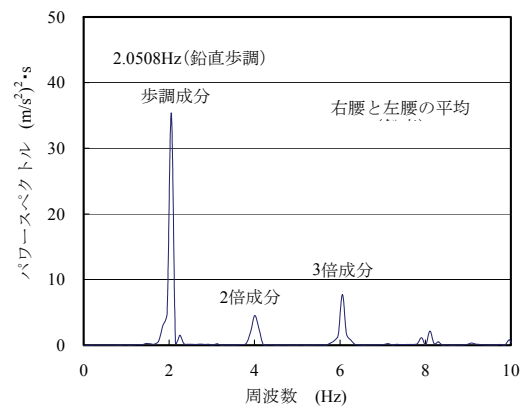


図-3 男子学生 Na の右腰部と左腰部での鉛直波形を平均した場合のスペクトル解析結果

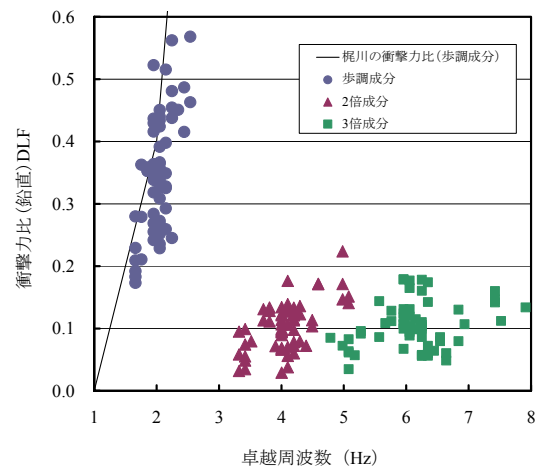


図-4 同位相の歩行外力成分歩調

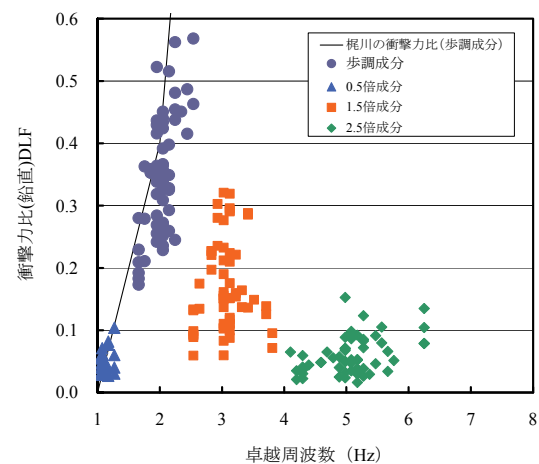


図-5 逆位相の歩行外力成分

した振動応答について研究する必要があると考えている。

参考文献

- 1) 米田昌弘：加速度波形のパワースペクトルを用いた歩行者の歩行特性簡易算定法，土木学会論文集中 A1 (構造・地震工学)，Vol.67, No.3, pp.539-544, 2011.