

討 議

第 28 卷第 4 號 (昭和 17 年 4 月)

軌條に作用する横壓力

(土木學會誌第 27 卷第 8 號所載)

正會員 星 野 陽 一*

1. 横壓力と車輪門構反力の關係について

(1) 著者は先づ停止中の車輛の及ぼす横壓力として「車輪門構の水平反力」を計算され、その結果がよく實測値と符合することを示された。今著者がこの檢證に用ひたと云はれる「第五回軌道成績調査經過報告」を見ると、同報告書記載の横壓力と垂直荷重の比は、軌條底の外縁應力と内縁應力の實測を各別に平均したもから求められ、各測定別の横壓力と垂直荷重の比は不明であるから、今箇々の實測に現はれた横壓力の狀態がどんなものであるかを知るために、試に著者が自身の測定値として論文 28 頁以下に掲げられた圖-39~41、又は上記報告書に記載されてゐる軌條頭横移動の實測記録を見ると、或る速度(勿論速度 0 に於ても)に於ける横壓力は正の或る値から 0 を通り越して負の相當の値迄、非常な廣い範圍に亙つて分布されてゐることが分る。

之で見ると横壓力の實測値は車輛停止中、或る一定の車輪に於てさへ(前記報告書に車輪別實測値あり)、正から負に跨がる非常に大きな variety を持つてゐて、著者は計算結果がよく檢證されたとされるにも拘らず、筆者はその同じ記録を見乍ら、著者とは逆に、**實在の横壓力は著者が計算された様な性質略一定なるべき値とは凡そかけ離れた様式を呈するものである**と決論せざるを得ないのである。

更に又軌條に働く横壓力と垂直荷重の比 H/P にこの様な variety がある場合には、上記報告書に記載された著者が檢證とされた様な、 H 及 P を各別に平均して出した H/P は、 H/P の平均値とは相當の相違を生ずる可能性があるから、この様にして求められた H/P の値を其儘使用することには檢證の數字そのものにも問題があることになる。

(2) 少くとも車輛が停止中には、確かに著者の算出された様な「門構反力としての横壓力」が働くべきで、このことは既に上記の報告書 13 頁以下にも指摘されある所であるが、苟くも横壓力の實測値が上記の如き様相を呈するとき、**之のみ**を以て横壓力の實體、少くともその全貌を窺ふに足る主要原因であると考へてよいであらうか。今著者計算の趣旨に従つて問題を停止車輛のみに限定して見ても、停止直前に先輪が或る量偏倚してゐた機關車を考へて見ると、この偏倚によつて車體に働く復元力が停止車體を轉向せしむるに充分なだけの大きさを持つてゐなければ、この先輪偏倚は車輛停止後と雖もその儘殘存され、各車輪(先輪自身に於て殊にその影響大)にはこの復元力に抵抗する力が働く。結局の横壓力は門構反力とこの様な力の和(代數和)であつて、實測横壓力が前記の様に、正負を逆にする様な甚しい variety を持つてゐるのを見ると、停止車輛に於てさへ、門構反力の他に考ふべき力の影響は、**たとひ近似的にもせよ無視し得るものでも、稀なる case として原則的に除外すべきものでも無い**如くである。

但し如何なる力が働くにせよ、停止車輛に於て働き得る横壓力の極限は車輪滑りの限度、即ち輪重に車輪軌條

間の摩擦係数を乗じたもの（但し車輛が停止中には軌條に競上つてゐる車輪はないとした場合）であるから、計算上の門構反力がこの極限值に近い場合（著者の計算によると大體夫に近い様である）には、實測横壓力の最大値（門構反力と同方向側の）は計算値に近い値になるのは當然であるが、この様な場合には、實測横壓力の最大値は門構反力によつて代表されると考へるよりも、極く簡単に「横壓力の最大値は實測上、略車輪滑りの限度迄達する」と考へる方が遙かに自然ではないであらうか。

(3) 次に横壓力問題の主要眼目たる車輛走行中の場合門構反力が横壓力に對して如何なる位置を占めるかを考へて見やう。

鐵道車輛の車軸は、各々その向き及左右車輪の軌條接觸位置によつて決る「自然進行方向」を持つてゐるが、一つの固定枠に制約された車軸群は、たとひ直線區間を走行中と雖も、全部の車軸が各々その自然進行方向に進む譯には行かないから、その中の或る車軸（實は大體に於て全車軸）は滑り乍ら進行せざるを得ない。門構反力はその大きさが車輪滑りの限度以下のときのみ實在し得ること勿論であるが、車輛走行中には車輪には常時滑りを生ずるから（この車輪滑りについては一部著者の研究があつたと記憶する）、車輪軌條間に働き得る摩擦力は全部その滑りのために費されて了つて、最早門構反力として必要な力は働き得ない。

従つて走行中の車輪に働く横壓力の最大値は、先輪や固定軸端等の車輪の様に軌條と競合ひになる可能性ある車輪以外では、計算上の門構反力の大きさに如何に拘らず、常に輪邊に車輪軌條間の滑り摩擦係数を乗じたものとしなければならない（走行中の車輛の車輪滑り方向は車輛の轉向中心に近接した車輪以外に於ては、横滑り速度は縦滑り速度に比して大であるから、この様な車輪の滑り方向は近似的に横方向と考へてよい）。

(4) 横壓力の問題を軌道設計とか車輛安全とかの實用問題に資するためには、著者が論文冒頭で力説され、又特に後編（第2章）を設けて取扱はれた様に、是非共車輛走行中の横壓力をその終極目的としなければならないが、この車輛走行中に於ては上述の如く、著者が前編（第1章）で基礎的に扱はれた門構反力は全々働かない様である。

然りとするならば、從來横壓力の問題を取扱ふ上に門構反力が無視されてゐたのは寧ろ正當であつた譯で、著者は横壓力に關する既往の研究なしと云はれるにも拘らず、之に關しては少くとも我々の手近な所に、既に堀越一三博士の車輪滑りによる横壓力に關する所説あること周知の通りである。走行中の車輛が及ぼす横壓力の原因としては、この他、例へば車輛蛇行動の影響等先づ考ふべきであらうが、この様な問題を取扱ふことは著者の云はれる通り容易ならざる仕事には相違ないとしても、苟くも横壓力の問題を究明せんとする以上、之を避けて他に採るべき途ありやと感ぜられる次第である。

(5) 以上によれば著者の算定された車輪門構反力は、問題の眼目たる車輛走行中には全々考慮すべきものでなく、又車輛停止中に於てさへ、只單に横壓力の一素因とのみより考へられないから、著者が前編計算に續いて該計算結果を軌道設計や車輛安定の問題に應用し得ると述べられた點、及横壓力を小にする條件として擧げられた車輛設計上の具體的指示には慥かに賛同し兼ねるものである。例へば横壓力を小にする條件としては、車輛停止中に於てさへ、從來から考へられてゐた通り、著者の擧げられた事項よりも車軸配置、その横動、先從輪の復元力等の問題、又車輛の安定上 H/P （横壓力と垂直荷重の比）の値を小にするためには、云はでものこと乍ら、上記の條件及蛇行動を小にして H を小にすることが、車輛振動（動輪回轉の影響を含む）を小にして P の減少を小にすることが遙かに重要ではないであらうか。

2. 車輪競上り速度に就て

(6) 後編に於て著者は實測 H/P (車輪の横壓力と垂直荷重の比) を基にして車輪競上り速度を求めて居られる。その算定速度は論文 80 頁表-16 によると、例へば

9600 型機關車 : 150~200 km/hr

貨 車 : 110~150 "

と云ふ様な非常な高速度になつてゐるが、果して實際にこの様な高速度迄車輪競上りの危険がないであらうか。

一體車輛殊に蒸氣機關車や貨車は通常の運行速度を左迄超過しない比較的低速で既に車輪浮上りの可能性を生ずるものらしく、例へば走行中の車輛 (客車及貨車) のバネ伸縮の實測結果 (工務資料 41 號) から車輪浮上り速度を概推して見ると

9600 機 : 140 km/hr

貨 車 : 125 "

と云つた値になり、著者の算定された車輪競上り速度程度又は其以下で既に H/P が ∞ になつて了ふ譯である。車輪競上り速度は勿論之より相當下になければならない。

この様に走行中に車輪の垂直荷重 P が減少することを考へると、走行中の車輛の H/P の最大値は、著者が使用された様な速度の二次式でなく、寧ろ例へば

$$\frac{H}{P} = \frac{1+aV}{1-\frac{V}{V_0}} \cdot \frac{H_0}{P_0} \dots\dots\dots(1)$$

但し a : 横壓力 H の速度増加率

V_0 : 車輪浮上り速度

H_0/P_0 : $V=0$ に於ける H/P

の様な形の式で表はさなければならぬのではないであらうか。 H/P の實測範囲内の速度 (著者の例で云へば $V < 70$) では勿論兩者何れによるも任意であるが、實測範囲を遙かに越えた上記の様な高速度になると、兩者の間には著しい相違を生ずる。従つて、著者が速度 70 km/hr 程度以下で得られた結果を、實測範囲を遙かに超えた、實に車輪浮上り速度に匹敵する様な高速度迄其儘延長されたと云ふことに一つの大きな疑問がある。

(7) H/P を (1) 式の様な形で表はした一例を挙げると、例へば 9600 機では動輪の垂直荷重 P の減少率即ち

$$(1) \text{ 式 } \text{分母} = 1 - 0.0047 V - (0.0042 V)^2$$

但し $V = \text{km/hr}$ (以下同じ)

この分母の減少のみによる (1) 式 H/P の増大は

$$V=20 : 1.11 (11 \%)$$

$$V=60 : 1.53 (53 \%)$$

となり之は圖-39 に示された横壓力の増加 ((1) 式分子) をも含めた増加率より大きいから、若し圖-39 によつて (1) 式分子の増加率 a を定めることになると、 a を負にしなければならぬ。(1) 式は或る速度に於て或る車輪の垂直荷重が最小になつた瞬間に、その車輪に働く軌間外方に向つた横壓力が丁度最大値に達すると云ふ、云はゞ机の上で考へられる最悪條件を狙つてゐるのであるから、圖-39 の實測値が必ずしもこの様な最悪條件を充してゐるとは云へず、寧ろ逆に、實測としては各獨立に變化する P と H を一緒にしたものを求めるよりも、兩

者別々に實測を行つて式の上で之を組合せる方が自然であるから、此處では先づ H の増加率のみを單獨に求めることにする。例へば著者も引用されてゐる第五回軌道成績調査経過報告に載せてある 9600 機の軌條頭正移動量の増加率を其儘取ることになると、大略

$$(1) \text{ 式 分子} = 1 + \left(\frac{V}{60}\right)^2$$

で表はせることになる。尤も後述する如く軌道の變位から横壓力を求めることには色々問題を含んでゐる様であるが、此處では極く簡單に上の様に假定して見た。

この様な値を用ひて (1) 式 H/P を求めると

$$9600 \text{ 機の車輪競上り速度} = \text{約 } 60 \text{ km/hr}$$

但し上記の計算で考へた H/P の増加率は圖-39 の實測値に比べて可成り大きいから、例へば最も極端な場合として、横壓力 H の速度による増加を全々考へない ((1) 式 $a=0$) と

$$\text{同上競上り速度} = \text{約 } 105 \text{ km/hr}$$

勿論上の計算も、用ひた數字は手元に有り合せの不用意のもので、斯様な事柄が斯様に簡單に決定出来るとは毛頭信ずるものではないが、この様な略算から推定して見ても、例へば 9600 機で云ふならば、その設計速度である 65 km/hr からそう無闇に大きくない所に、既に恐らく車輪競上りの可能性があるのではないだらうか。著者の算定された安全速度が實際生じ得る危険の限度を相當程度突破してゐるはしないかを慮れるのである。

(8) 最後に著者は風壓の影響について言及されてゐるが、この場合は上記の他、風壓によつても左右車輪に偏壓を生じるから、車輛停止中又は H/P の速度増加率が充分著者の使用された公式を以て表示し得る速度範囲に於ても、著者の扱はれた風上側車輪に於ては、著者が考慮された風壓による H の減少の他に、 P も亦減少すべきことを、尙又この他風下側車輪に就て、 P は増大するが H も亦増大することを考慮しなければならない。

之等の場合著者の扱はれた車輪競上りの他に車輪浮上りの危険も同時に檢べなければならないこと勿論である。風壓による車輪浮上りに就ては既に武藏倉治博士の詳細なる研究あること周知の通りである。

3. 軌道の變位より横壓力を求める方法に就て

(9) 後篇所論の基礎になつてゐる實測 H/P は實測軌條應力比 ξ に一定の換算率 η を乘じて求めて居られるが、この様な換算が出来るのは、車輪の垂直荷重と水平荷重の各が各車輪共等しい場合に限る。走行中の車輛の様に横壓力が各車輪に於て著しく異なる (符號反對のものあり) 可能性ある場合には無條件にこの様な方法を用ふることは出来ない。

著者が論文 14 頁、圖-11 に示された影響線を見ると、幸にして軌條横彎曲の隣接車輪による影響は可成り小さいから、近似的には、著者がされた様に各車輪の横壓力を一定と假定するか、寧ろもつと簡単に隣接車輪の影響を全々考へない η (少くとも車輛走行中には兩者何れの假定によつた方が真に近いかは確かに断定出来ない) を用ひてよい如くであるが、例へば各車輪中比較的小さい横彎曲を現はしてゐる車輪の横壓力を算定する場合とか、その隣接車輪が符號反對の横壓力を持つてゐる場合とかには、豫想外に大きな誤差を生じることを覺悟しなければならない。

従つて一般に軌道の變位から横壓力を求める場合には、求めんとする未知なる値ではあるが、先づ一應、各車輪の横壓力の分布状態を想定して、之によつて生ずべき變位を計算し、實測値は逆に、この想定が正當なりや否

ヤの検証に使用する他ない。實測變位を或一つの假定を設けて横圧力に換算したのみでは、この換算が果してどの程度正當なりやが保證出来ない。

尤も著者の行はれた様に H/P の最大値の、然も其の速度による増加の割合のみを求める場合には、最大 H/P を與へるものが常に一定の車輪で、且、各車輪の横圧力の比が速度によつて大した變化を受けないと假定すれば、著者がされた様な一定の換算率を使つてよいことになるが、斯様な假定が果して成立つものか否か據かに断定出来ないやうである。

4. 結 び

(10) 以上を要約すると

(i) 停止車輪の横圧力は實測によると非常に大きな variety を持つてゐるやうで、且著者が検証に使はれた材料は停止中の實測値でなく、著者が計算されたと全々別箇の原因によると考へられる車輪走行中の横圧力の速度 0 點への延長値の、然も眞の意味の平均値ではないから、著者が計算を検證された檢證そのものに再考を要するものがあるのではないであらうか。

(ii) 軌道の設計や車輛の安全等實用問題を對照とするならば、車輛走行中をも含めた横圧力を考へなければならぬが、この様な横圧力の最大値は、著者が計算されたと全々別箇の原因（車輪滑りや軌條への衝突）によるものを考へなければならぬから、著者が計算に續いて結論的に述べられた横圧力を小にする條件、及この計算が軌道設計や車輛安全の問題に直ちに應用し得ると爲された點には據かに賛同し兼ねる。

(iii) 走行中又は風壓を受けた場合に車輪の垂直荷重が減少することを考へると、實際の車輛の安全限度、即ち車輪競上り又は車輪浮上りの可能性は、著者が算定された車輪浮上り速度より相當低い所に既に生ずる可能性があるのではないであらうか。

(iv) 軌條の應力や移動量を著者の様な方法で横圧力に換算することは、少くとも原理的に見て、相當問題があるやうである。

(11) 著者が本論文に於て停止中の車輪が及ぼす横圧力を計算的に解明する上の重要な手掛りを與へられたことは、啓發される點多かりしを此處に改めて深謝するものであるが、計算に續いて著者が結論乃至應用的に申述べられた諸項には、如上種々筆者に納得し兼ねるもの多く、この點御高教を賜らば、獨り筆者の幸のみにあらずと存するものである。

著者 正會員 千 秋 邦 夫*

土木學會誌第 27 卷第 8 號所載、拙著軌條に作用する横圧力に關し、星野君より質疑がありましたので御答へ致します。

* 工學士 鐵道技師 鐵道省工務局線路課