

彙 報

土木學會誌 第十四卷第五號 昭和三年十月

鐵道橋梁の擊衝に就て

准員 工學士 加 藤 次 郎

内 容 梗 概

本編は鐵道橋梁の安否を論ぜんとする見地より、先づ橋梁に加はる外力を明かにすべく、著者が鐵道省の車輛及橋梁に就て表記事項を理論的に研究したる結果を採擇したるものなり。詳細は鐵道大臣官房研究所發行「業務研究資料」第十六卷第二號及第三號所載「擊衝率特論」を参照せられたし。

本論文にて著者は「如何なる構造の機關車が如何なる車輛を牽引し、如何なる速度にて又如何なる支間の橋梁上に蕩進し來りたる時、幾許の動力學的作用を橋梁に及ぼすべきか」を示すべき實用公式を導きたり。

第一 序論 鐵道橋梁の安否と擊衝率

從來橋梁工學は橋梁の設計に就てのみ深き研究を遂げたれども、其の製作、架設乃至經濟的橋梁計畫等に就ては、理論的に深く討究する所なかりしが如く考へらる。然るに上記事項は皆盡く新に橋梁を架設せんとする際に生ずる問題なれども、尙之等と全然趣を異にし吾人が橋梁工學中從來殆ど省みざりしものに「現存橋梁の安否如何」を討究する一部門のあるを忘るべからず。

殊に鐵道橋梁に於ては専ら經濟的設計を必要とする事と、設計荷重と實際の列車荷重が略同一にして橋梁は高速度にて走過する荷重に依り常に大なる應力を受け且つ此の危險は年々機關車及貨車が次第に其の重量を増加するにつれて益々逼迫し來る事により、現存橋梁の安否如何は甚だ重大なる問題と化するなり。

勿論從來の橋梁工學と雖近來の發達は次第に外力の作用、内力の分布を明かにし以て最僅少なる斷面にて荷重を支へんとする傾向を招起したるを以て、暗々裡には橋梁の安否を論究する方向に轉化しつつあるものと云ひ得るなり。されど依然として之等がより經濟的なる設計を得んとする目的以外には出でざるに反し、著者は旗幟を鮮明にして唯一橋梁の安否をのみ論究せんとする橋梁工學の一部門を茲に提唱せんと欲するなり。

思ふに鐵道橋梁を建設せんとする爲には吾人は外力として相當なる荷重と相當なる擊衝率とを假定すれば足り、其の假定の可否は結局多少の經濟的利益に係るに過ぎず。即擊衝率の大小適否も要するに重大なる問題とはなり得ざるなり。然るに今一步現存橋梁の安否を論ぜ

んとするに至つては、設計荷重と實際荷重の相異乃至列車の擊衝作用の推定等は實に絶對的の重要性を有するものなり。何となれば一度其の算定を誤れば直に橋梁の危険を招くべく、又其の算出を怠つて徒らに強大なる橋梁をも取捨つるに於ては由々しき經濟上の損失を蒙るべければなり。

鐵道橋梁の安否を論ぜんには次の 3 者に就て精細なる知識を要すべし。

(1) 種々相異なる列車荷重に就て其の速度を考慮し實際に生じ得る最大の動力學的作用を推定する事。即擊衝に就ての總括的研究を完成せざるべからず。

(2) 橋梁の普通一般の設計に用ひらるゝ主應力以外に、凡ゆる實際の内應力の分布を明かにし以て吾人が橋梁の安否の檢算に計上する理論的の應力と實際に橋梁を測定して得らるゝ實應力とを、凡ゆる橋梁局部に於て盡く一致せしむる事。即副應力に就て總括的研究を完成せざるべからず。

(3) 橋梁を構成する各部材並びに銜結箇所就て、材質の確否、疲勞、損傷、腐蝕等を明かにし、以て漫然安全率なる一語にて覆はれたる部分を分析して明確にする事。即安全率に就て總括的研究を完成せざるべからず。

此れ等は勿論、現存橋梁の安否を論ぜんとする目的なるを以て、凡ゆる曖昧なる假定を排し複雑混沌たる實際の狀況に即して慎重且つ鋭細に考察を廻らさざるべからず。従つて其の研究は實に困難の事に屬す。されど今や鐵道省に屬する橋梁のみにも數十萬噸を數へ其れ等が既に補強、架換等の時期に到達せるのみならず、今後製作せらるべき機關車は益々強大となるべく更に電氣機關車の出現、列車の高速度運轉等は切實に現在橋梁の安否を確知するの必要を生ぜしむ。斯の如く橋梁の安否を論ずる見地より上述せる第一項目に就て何等か完成せる結論を實地に即して得んとせるが著者の擊衝論なり。本篇に於ては其の結果を報告する意味にて推論の行程を略述し、唯著者獨特の方法に就てのみ多少の説明を施すに止むべし。

抑々橋梁の擊衝を明かにせんには

(1) 機關車並びに車輛の構造の相違に依り、橋梁に及ぼす動力學的影響が如何に異なるべきか。

(2) 列車速度の大小と其の動力學的作用との關係等に就て充分精細なる研究を行はざるべからず。尙夫等を實際に基きて誤たず論ぜんには、橋梁の自重、撓度、振動並びに機關車及貨車の構造に就て充分なる基礎的の研究を要すべきなり。従つて著者の「擊衝率特論」に於ては、先づ基礎的諸問題を取扱ひ次に列車速度及車輛構造と擊衝との關係を論じ、最後に擊衝率の實用公式を導きたり。

勿論此の實用公式は單に二、三の純粹なる理論的計算に依るものには非ずして、總ゆる現

象を理論的に考察し且つ從來の實驗研究の結果をも充分參酌し總括的に導き得たる結論に外ならず。此れ等は從來數多く出でたる擊衝論と稍々趣を異にする所なれども、著者は曖昧なる假定の上に嚴格なる理論的結論を二、三導きて満足せんよりも、寧ろ複雑極りなき車輛並びに橋梁の實際の狀況に基きて、可及的に實用價值ある公式を纏め上げんと欲したるなり。

尙本公式の徹底的實地檢證に就ては近日中に其の遂行を期せり。

第二 擊衝率特論 目次

第一編 基礎的諸問題

第一章 鐵道橋梁の自重

- 第一節 從來の示方書による橋梁の自重， 第二節 新示方書による橋梁の自重，
第三節 クーパー $E-X$ 相當橋梁の重量

第二章 鐵道橋梁の撓度

- 第一節 彎曲率による鈹桁の撓度， 第二節 剪力の撓度に及ぼす影響， 第三節
撓度の實用公式(附構桁の撓度)， 第四節 列車の動力學的作用による撓度の増加，
第五節 撓度の制限

第三章 鐵道橋梁の振動と列車の臨界速度

- 第一節 振動の勢力式， 第二節 鈹桁の自己振動， 第三節 構桁の自己振動，
第四節 臨界突入間隔， 第五節 臨界速度， 第六節 橋梁支間と振動回數及擾
亂速度， 臨界速度との關係

第二編 擊衝率の理論的研究結果

第一章 列車速度と擊衝との關係

序 論 擊衝の原因

- 第一項 荷重の速度に起因する橋梁の振動， 第二項 橋梁の強制振動と荷重の
慣性力， 第三項 橋梁の自己振動と荷重の慣性力， 第四項 働輪の過平衡對重
によるハンマー・ブロー， 第五項 縱桁の撓度， 第六項 急激なる載荷， 第七
項 軌條接目， 第八項 車輪の扁平緣， 第九項 車輛の擔彈機及動搖， 第十
項 其の他種々の原因

第二章 機關車の構造と擊衝との關係

- 序 論 機關車の構造の差異を如何に考察すべきか， 擊衝作用の累加と緩和， 其の他，
第一節 ハンマー・ブロー H の擊衝係數， 第二節 彈機下重量 W_u の擊衝係數，
第三節 彈機上重量 W_s の擊衝係數

第三章 結 論

序論 撃衝公式の導入及其の應用, 第一節 理論的に得たる著者の撃衝公式,
第二節 如何なる速度にて走過する, 如何なる形式の機關車は, クーパー E 幾許の
設計荷重に相當するや

第三節 雜論

第一項 電氣機關車と蒸氣機關車の橋梁に及ぼす作用の比較, 第二項 現在の
橋梁の安全度, 第三項 橋梁以外に於ける公式の應用

第三 基礎的諸問題 (第一編)

第一章 鐵道橋梁の自重

橋梁の設計のみならず振動を論ずる場合に重要なものは其の自重なり。舊尺封度式設計示方書並びに新米式設計示方書に依る鐵道省橋桁重量を統計的研究より求めたり。橋梁單位長さ當り重量は支間の一次式にて示し得。

尙クーパー E-40 にて設計せられたる鋼桁の重量を W_{40} (封度/呎) とせばクーパー E-X にて設計せらるべき橋梁の重量 W_x は次の式にて得らる。

$$W_x = W_{40} \left[0.60 \frac{1.15 + (0.10 - 0.15 \frac{l-20}{60}) \frac{X-33}{7}}{1.25 - 0.15 \frac{l-40}{60}} \sqrt{\frac{X t_x}{40 t_{40}}} + 0.40 \right] \times \left[0.9 + 0.15 \frac{X-26}{14} \right] \dots\dots (1)$$

茲に t_x/t_{40} は各腹鋼の厚さの比, l は支間 (呎) とす。

第二章 鐵道橋梁の撓度

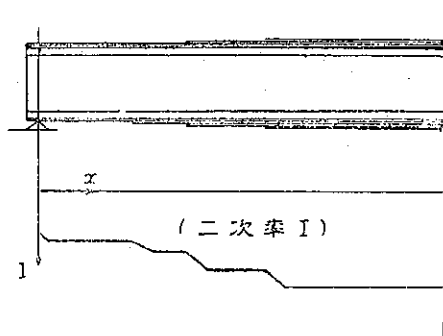
撓度の大きさは橋梁の受くる動力學的作用の大小に對し, 決定的に重大なる因子を成す。従つて充分精細に討究するを要すべし。

第一節 彎曲率による鋼桁の撓度

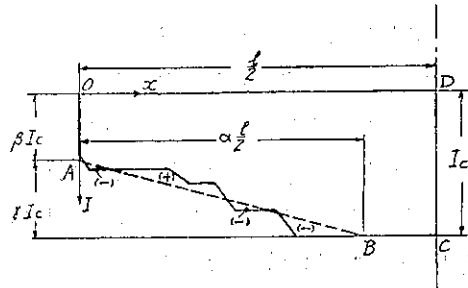
鋼桁の断面二次率 I の變化を第一圖の如く可及的に精密に考へ, 第二圖の如く梯形の變化をなすものとして考へて計算せば, 桁中央の撓度 δ_0 は次の如し。

$$\delta_0 = \frac{5 M c l^2}{48 E I_c} \left[1 + (3 - 2\gamma - 6 \frac{\beta}{\gamma} + 6 \frac{\beta^2}{\gamma^2} \log 2) \frac{4\alpha^3}{5\gamma} - \left\{ 1 - \frac{3\gamma}{4} - \frac{3\beta}{2\gamma} + \frac{\beta^2}{\gamma^2} (1 - \log 2) \right\} \frac{4\alpha^4}{5\gamma} \right] \dots\dots (2)$$

第一圖



第二圖



普通鋼桁にては略々 $\beta = \gamma = \frac{1}{2}$ なるを以て上式は簡單となる。

$$\delta_c = \frac{5 M_c l^2}{48 E I_c} (1 + 0.25428 \alpha^3 - 0.07286 \alpha^4) \dots\dots\dots (3)$$

茲に M_c は拋物線的變化をなす彎曲率の桁中央に於ける最大値を示し、 I_c は桁中央の總斷面二次率とす。

第二節 剪力の撓度に及ぼす影響

橋桁を $2n$ 等分し其の短き部分 $l/2n$ にては彎曲率 m 、剪力 q 、斷面率二次率 I 、腹板斷面 F_s より導かれたる斷面 F 、

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_s} \left[\frac{h_1 (S_0 + \frac{\delta h_1^2}{12})}{I} \right]$$

等は常數なりとせば、桁中央の最大撓度 δ_c は

$$\delta_c = \frac{l}{n} \left[\frac{l}{E} \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\alpha_i I_i} + \frac{1}{2G} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{F_i} \right] \dots\dots\dots (4)$$

(4) 式右邊第一項は彎曲率に依る撓度を示し、第二項は剪力に依る撓度を示す。實例につき計算するに相當徑間の橋桁にては剪力の撓度に及ぼす影響は彎曲率に依るものゝ約 11% に達し輕々と無視し得る程度に非ず。

第三節 撓度の實用公式 (附、構桁の撓度)

(3) 式に $\alpha = 0.7 \sim 0.8$ と置き且つ剪力の影響をも考慮に入れて

下路桁にては $\delta = \frac{6.11 M_c l^2}{48 E I_c}$

又は
$$\delta_c = \frac{5.50 M_c l^2}{48 EI_c} + \frac{2.63 M_c}{EF_s} \dots\dots\dots (5)$$

(5) 式右邊第二項は剪力の影響のみを示す。又 (5) 式は構桁にても應用せらるゝ所にして、構桁の腹部斜材等の剪力を支ふるものゝ總斷面を同じ高さの鈹桁腹鈹斷面に換算して F を出し、 I_c は中央弦材が鈹桁の上、下弦と同様に働きたりと考へて計算を行へば可なり。

第四節 列車の動力學的作用に依る撓度の増加

列車荷重が桁上を直接に或る速度を以て走過したりとする時、理論的に 3 種の原因より撓度の増加は加算計上せらる。

第五節 撓度の制限

撓度は支間の 1/1000 以下に止むるを以て各橋梁に同一の安全率を確保せしむる所以なりと考ふ。従つて桁高は支間の 1/14 以下にすべからず、若し桁高を夫以下に制限せんとする時は許容應力を低下せしむべし。

第三章 鐵道橋梁の振動と列車の臨界速度

列車の走過によりて橋梁の受くる動力學的作用は所謂強制振動に依るものなれども、結局其の影響の大小は橋梁の載荷時に於ける自己振動の週期によつて左右せらる。従つて先づ自己振動の週期を求むべし。

第一節 振動の勢力式

任意の構造物の自己振動回數 n は次式にて計算せらる。

$$n = \frac{1}{T} = \frac{p}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\int_0^s \frac{M^2}{EI} ds + \int_0^s \frac{N^2}{EA} ds + \kappa \int_0^s \frac{S^2}{GA} ds}{\int_0^s ma^2 ds}} \dots\dots\dots (6)$$

第二節 鈹桁の自己振動

(6) 式を用ひ其の中に鐵道省鈹桁の重量及當等布活荷重等を入れて計算を行はゞ次式にて鈹桁の自己振動回數を得。

$$n = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{gEI}{w}} \sqrt{1.1} \dots\dots\dots (7)$$

第三節 構桁の自己振動

構桁の自己振動數も (6) 式を用ひて計算し得れども煩雜なり。既に著者は構桁の撓度をも鈹桁と同様にして計算し得る方法を示したるを以て振動數も鈹桁と同様 (7) 式を用ひて計算せらる。但し剪力の影響即斜材を考慮に入れて斷面二次率を次の如く訂正して置くを要す。(第二章第三節参照)

$$\text{即 } I_0 = \frac{1}{\frac{1}{I} + \frac{23.8}{Fl^2}} \dots\dots\dots (8)$$

第四節 臨界突入間隔

單一荷重列がある速度にて且つ或る間隔を保ちつゝ橋梁に突入し來る時、各々單一荷重の惹起す橋梁の自己振動位相が相一致するが如き突入間隔を臨界突入間隔と稱す。斯る場合は荷重列の作用は普通一般の場合の如く擾亂を起して互に作用を相殺する事なく、反つて相加はりて益々其の影響を大ならしむる傾向を有すべきなり。其の間隔は次式にて與へらる。

$$\lambda = k \frac{v}{n} \dots\dots\dots (9)$$

但し v は列車速度、 n は橋梁の自己振動數、 $k=1$ の場合のみ問題となる。

第五節 臨界速度

蒸氣機關車働輪の過平衡對重の撃衝即ハンマー・ブローが橋梁に共鳴振動乃至唸りの現象を生ずべき事は屢々論ぜられたる所なり。直徑 D 米の働輪を有する機關車が v 軒/時の速度にて橋梁上を走過する時、共鳴を生ずべき桁の自己振動數 n は次式にて與へらる。

$$n = \frac{1000v}{3600\pi D} \dots\dots\dots (10)$$

第六節 橋梁支間と振動同數及擾亂速度、臨界速度との關係

上記二節より推知し得る關係を述べれば次の如し。

(1) 臨界突入間隔を與ふる速度と週期的撃衝を與ふる車輪の臨界速度とは決して一致せず。従つて常に擾亂を生ず。殊に 9600 及 8200 型等一般機關車にては（擾亂最大なる突入間隔を持する速度）即擾亂速度の略々中央に臨界速度あり。故にハンマー・ブローも一般には甚だしき擾亂の中に作用するものと考へらる。

(2) 然るに貨車が構桁に於ける場合は臨界速度は擾亂速度外にあるを以て擾亂少く撃衝作用は累積し得べし。貨車が橋梁上の軌條接目其の他週期的打撃を發生しうべき缺陷ある長徑間橋梁を通過する場合往々にして大なる撃衝應力を發生する事あるはこの理由によるべし。

(3) 支間 60 米附近にては臨界速度は甚だ遅くなるを以てハンマー・ブローの絶對値も僅少なるべし。然らばハンマー・ブローの累積作用も結局僅少となり、寧ろ臨界速度に非ずして最高速度にて走過したる方がより大なる影響を與ふるに非ずやと考へらる。これは殊に 8200 型等急行旅客用機關車に就てより重大なる反省を要すべし。

(4) 従つて臨界速度大なる支間 10 米以下の橋梁に於て最も大なる動力學的作用が期待し得るなり。

(5) 貨車の例よりすれば働輪の直径小なる機関車は橋梁に甚だ悪しき影響を及ぼすべき事を知る。

第四 撃衝率の理論的研究結果 (第二編)

第一章 列車速度と撃衝との關係

第一項 荷重の速度に起因する橋梁の振動による撃衝

今荷重の慣性力を無視し唯荷重の速度に依る影響のみを考ふ。即此の場合は力の作用點が橋桁上を移動するに過ぎざれば、桁の振動の方程式は次の如くなる。

$$\frac{w}{g} \frac{d^2 y}{dt^2} - \frac{\gamma}{g} I \frac{\partial^4 y}{\partial x^2 \partial t^2} = -EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + w + P(x, t)$$

此の偏微分方程式の近似解は既に知らるゝ所にして次の形に簡單化せらる

$$y = \frac{1}{1-\alpha} y_{sm}$$

但し y_{sm} は荷重の静力學的作用に依る桁中央の最大撓度なり。従つて動力學的作用に依る撓度の増加率即撃衝は

$$\frac{\Delta y}{y_{sm}} = \frac{y - y_{sm}}{y_{sm}} = \frac{1}{1-\alpha} - 1 = \frac{\alpha}{1-\alpha} \dots \dots \dots (11)$$

茲に

$$\alpha = \frac{Cl}{\pi} \sqrt{\frac{w}{EIg}}$$

なるを以て此の w 及 I に第一編にて得たる所を代入し、本原因に依る撃衝率を得べし。 C は列車速度を示すを以て α 従つて撃衝は速度の函數にて示さる。

第二項 橋梁の強制振動と荷重の慣性力との關係による撃衝

本項目に依る撃衝は一般に橋桁の撓度に依つて生ずる活荷重の鉛直方向の遠心力として知らるゝ所なり。荷重の慣性力を反省すべく桁の強制振動の式に次の如く置く。

$$\frac{w}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = P(x, t) \left(1 - \frac{\mu}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right)$$

本式を解きて近似的に本原因に依る撃衝を得。

$$\frac{\Delta y}{y_{sm}} = \frac{\alpha^2}{1-\alpha} \dots \dots \dots (12)$$

第三項 橋梁の自己振動と荷重の慣性力との關係による撃衝

橋梁の自己振動に依つて荷重の垂直加速度従つて其の重量の増加割合は前項の式より

$$\frac{\mu}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{2\mu P}{wl} \alpha \sin \frac{1}{\alpha} \frac{\pi c}{l} t \sin \frac{\pi x}{l}$$

従つて此の撃衝は大略

$$\frac{\Delta y}{y_{sm}} = \frac{2\mu\alpha}{1-\alpha} \dots \dots \dots (13)$$

但し μ は擔彈機の影響を示す係數なり。

第四項 働輪の過平衡對重のハンマー・ブローに依る撃衝

ハンマー・ブロー H の大きさは鐵道省の機關車働輪にありては

$$H = \frac{15W}{100} \frac{C^2}{V^2} \dots \dots \dots (14)$$

茲に C は列車速度, V は機關車設計速度なり。

著者は種々の理由よりして臨界速度にありてもハンマー・ブローに依る橋梁の撃衝は H の撃衝係數をして 250% 以上には上らしめずと推斷したり。

第五項 縦桁の撓度による撃衝

縦桁の撓度による遠心力の爲荷重は増大するものと考へらる。橋桁支間を l とする時本原因による撃衝は次の如し。

$$\frac{1}{g} \frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{8c^2}{1000lg} \dots \dots \dots (15)$$

第六項 急激なる載荷に依る撃衝

車輪が橋梁に乗入るゝ際の打撃は小支間の橋梁に對してのみ問題となるべし

$$y_{sm} + \Sigma \Delta y = 2y_{sm} \dots \dots \dots (16)$$

第七項 軌條接目による撃衝

軌條接目の遊間にて直徑 d なる車輪が沈下する場合, 車輪の垂直加速度の増加 α は略々次の式にて與へらる。

$$\alpha = \frac{1}{6.5\beta^2} \frac{C^2}{d}$$

$\beta \doteq 3$ と置かば本原因による撃衝 a/g は

$$\frac{a}{g} = \frac{1}{58.5} \frac{C^2}{gd} \dots \dots \dots (17)$$

第八項 車輪の偏平縁に依る撃衝

偏平縁の作用も軌條接目に於けると略々同様の結果を示す。

$$\frac{a}{g} = \frac{4}{9} \frac{C^2}{g\bar{d}} \dots\dots\dots(18)$$

第九項 車輛の擔彈機及動搖による影響

車輛の擔彈機は急激なる振動（振幅 Δf ）に對しては彈機上重量 P の撃衝を輕減せしむるものなり。彈機の通常撓度を f とせば其の撃衝は次の如し。

$$\Delta P = \frac{\Delta f}{f} P \dots\dots\dots(19)$$

されど大橋梁にて車體が橋梁の振動につれて大なる動搖をなす時は、彈機上重量の撃衝の彈機下重量の夫に對する比 μ は次の如し。

$$\mu = \frac{\left(\frac{n'}{n}\right)^2}{1 - \left(\frac{n'}{n}\right)^2} \dots\dots\dots(20)$$

但し n' は彈機の車輛載荷時に於ける自己振動數、 n は橋梁の載荷時に於ける自己振動數なり。

第十項 其の他種々の原因に依る影響

列車速度と明かなる關係は認め難きも何等か撃衝と關係ありと考へらるゝ事項は

- (a) 橋梁上の軌道に凸凹ありて平坦ならず幾分の遠心力を生ぜしむる事あり。
- (b) 橋梁前後の軌道の取附悪しく列車乗入に際して撃衝を起す事あり。
- (c) 偏心車輛。偏平車輪と略々同様の作用を及ぼす。
- (d) 車輛重心の高低其の他。

第二章 機關車の構造と撃衝との關係

序論。今橋梁上を走過する任意の數個の車輪を考察するに、假令其の直徑乃至軸重等は皆相等しからんも、其れ等が機關車の働輪なるか貨車の車輪なるか、又は其の軸重中の何割が擔彈機上の重量にて何割が直接軌條上に乘れる彈機下重量なるか等の差異によりて、必ずや軌道に及ぼす動力學的作用に種々の相違あるべきなり。此れ等の車輪構造上の差異による撃衝の相違を比較的簡單に且つ正確に論ぜんには、車輪の動力學的増加を次の如く3種に分類して考察すれば可なるべしと考へらる。

即 (1) 蒸氣機關車働輪のハンマー・ブロー H に依る撃衝

(2) 軸重中にては車輪、車軸、及臺車枠等彈機下重量 W_0 の撃衝

(3) 軸重中にては車體及積載荷重等彈機上重量 W_0 の撃衝

然して以上 3 種の重量は列車速度により又橋梁支間の大小に應じ各々特種の撃衝係数を有すべきなり。

第一節 ハンマー・ブロー H の撃衝係數

ハンマー・ブロー H の撃衝係數 α は前章各項目の撃衝中ハンマー・ブローと加算的のものを探り、適宜に其れ等を配合して求められる。即 (11), (12), (13), (15) 式等の結果の外にハンマー・ブローの共鳴による撃衝をも加算し、更に第十項の影響をも幾分考慮して α の數値を得。夫等を橋梁支間 l と列車速度 v との函数にて示す事第三圖の如し。

第二節 彈機下重量 W_u の撃衝係數 β

前章の各項目に依る撃衝式中 (11), (12), (13), (15), (16), 及 (17) 式の一部並びに第十項目をも考慮し、又別に (17), (18) 式を計算して各々の加算を行ひ、夫等の和の中大なる方をとりて β とす。 β は次の式にて示さる。

$$\beta = \frac{(0.386 + 0.0032v)}{125000} v(60-l)^3 + (0.22 + 0.0015v)v \quad (\text{百分率にて})$$

第三節 彈機上重量の撃衝係數 γ

同様に (11), (12) 式並びに (13) 式と (19) 式とを計算して相加へ、更に (15) 式を考慮して γ を求む。

$$\gamma = (0.4 - 0.00236l)v \quad (\text{百分率にて})$$

第三章 結 論

第一節 理論的に得たる著者の撃衝公式

列車荷重中の任意の車軸に就て

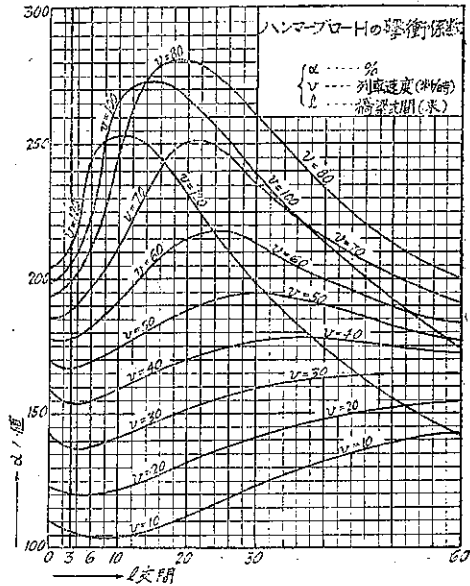
$W, i \dots$ 軸重及撃衝率

$H, \alpha \dots$ ハンマー・ブロー及其の撃衝係數

$W_u, \beta \dots$ 彈機下重量及其の撃衝係數

$W_o, \gamma \dots$ 彈機上重量及其の撃衝係數

第三圖



とせば、動力學的作用をも含めたる軸重 $(1+i)W$ (著者は之を撃衝荷重と稱す) は次の式にて與へらるべし。

$$(1+i)W = \alpha H + (1+\beta)W_u + (1+\gamma)W_0 \dots \dots \dots (21)$$

然して此の撃衝係數 α, β, γ 等は前章にて求めたるが如く列車速度と橋梁支間 l との函數なり。

今之に前章の結果を代入せば

$$(1+i)W = \frac{3\alpha W}{2000} \frac{v^3}{V^2} + \left[\frac{(0.386 + 0.0032v)v(60-l)^3}{12500000} + \frac{100 + (0.22 + 0.0015v)v}{100} \right] W_u + \frac{100 + (0.4 - 0.00236l)v}{100} W_0 \dots \dots \dots (22)$$

(但し α は第三圖中百分率にて示されたる數値を採るものとす)。

此の (22) 式は著者が理論的に鐵道省の車輛並びに橋梁に對して得たる撃衝公式なり。(22) 式に依れば機關車の構造と列車の走行速度との相違が、橋梁の撃衝に及ぼす影響を明かにし得るのみならず、其の結果は橋梁設計示方書中に示さるゝ撃衝率と高速度 (9600 型機關車にて 70 軒/時) にて略々同様の結果を與ふるものなり。

第二節 如何なる速度にて走過する、如何なる形式の機關車はクーパー E 幾許の設計荷重に相當するや

從來の方法に依れば、各種實際の機關車がある橋梁を通過するに果して安全なりや否やを論ずる場合其の機關車の橋梁に及ぼす作用の比較をなす根本は只單に軸重の大小と車軸の配置とのみに過ぎざりき。

即ち車輪の橋梁に及ぼす動力學的作用は全部同様なりと假定して一律に示方書中の撃衝率 i を軸重 W に乘じ、撃衝荷重 $(1+i)W$ に就て橋梁の彎曲率及剪力を求め、此の機關車は幾許の支間の橋梁を通過する場合、クーパー E 幾許に相當するかを算出し、従つてクーパー E 幾許の荷重にて設計せられたる彼の橋梁を通過せしむるは安全なり、若くば危險なりとなしぬ。

然れども上記の計算にては

- (1) 列車の速度を考慮に入れざる事。
- (2) 蒸氣機關車の働輪も貨車の車輛も皆同様な撃衝を及ぼすと考ふる事。即ち車輛の構造の相違を省みざる事。

以上二つの重大なる缺點を有するを以て、著者は斯の如くにして得たるクーパー E 相當

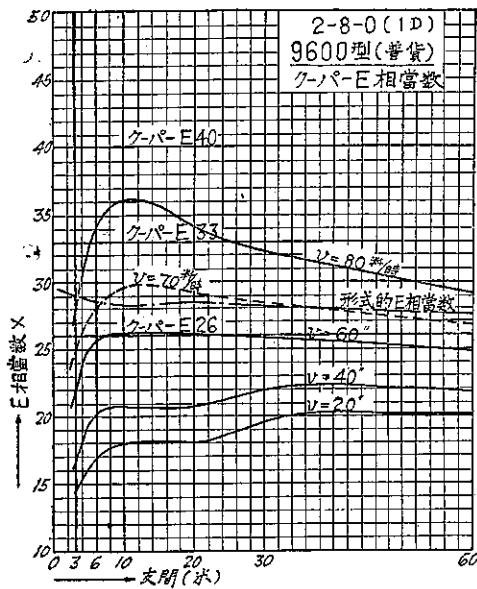
數は實際の状況に適合せざる誠に不完全極まるものと考ふるを以て、之を「形式的クーパー E 相當數」と言はんとす。

然るに此れ等の缺點は上述せる公式 (22) に依つて撃衝荷重を計算し、夫を用ひてクーパー E 相當數を求むれば最早完全に除き得るなり。

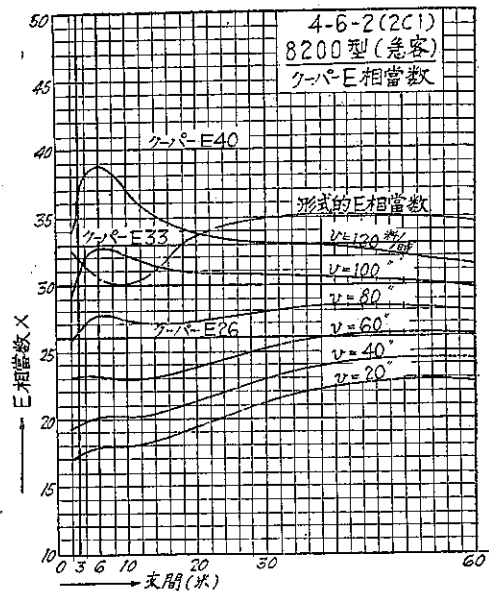
著者は現在 (並びに將來) 鐵道省軌道上を第一線に立ちて活躍すべき大機關車 13 種に就きて上述せる理論に依る正しきクーパー E 相當數を求め、以て夫等が各種橋梁を通過する際の橋梁の安否を検算したり。

今一例として 9600 型及 8200 型機關車が各々重聯して貨物車輛を牽引し來れる場合に就て計算結果を示せば、次の第四圖及第五圖の如し。

第 四 圖



第 五 圖



此れ等の表より推知し得らるゝ所を述べれば次の如し。

- (1) 速度に應じてクーパー E 相當數に甚だしき相異あり。即ち列車を除行せしむれば甚だしく撃衝を減じ得べし。
- (2) 従來の形式的クーパー E 相當數は比較的小支間 (6 米前後) にて小に過ぎ、比較的大支間 (80 米-60 米) にて大に過ぐ。即ち従來架せられたる同一設計荷重による橋梁にては、大支間は小支間よりも事實に於てはより大なる安全率を有する事となる。
- (3) クーパー E 相當數は高速度の場合は支間と逆比例して減少し、低速度の場合は支

間と正比例して増大す。此れ等の原因は前者にては高速度にて蒸氣機關車の働輪が甚だしく大なる作用を及ぼす事に因り、後者にては速度が小なる場合彈機上重量の動力學的作用は橋梁の支間によりて餘り變化せざる事に因るなり。

- (4) 貨物列車用蒸氣機關車 9600 型にては機關車の軸重配置がクーパー E 荷重系のもとの相似たれば、E 相當數は概して水平にて直線的の變化をなす。特に 9600 型にて $v=70$ 軒/時の E 相當數は形式的 E 相當數と殆ど同様となる。
- (5) 急行旅客列車用蒸氣機關車 8200 型にては
- (I) 速度 120 軒/時 及 100 軒/時に於ける小支間橋梁を除けば概して働輪の作用小なり。
- (II) 長支間 (20-60 米) にては形式的クーパー E 相當數甚だしく大なり。

第三節 雜 論

著者の (22) 式の應用を略述すれば、本式は一般の鐵道橋梁の安否を驗する場合以外に尙次の如き事項をも論じうるなり。

- (1) 電氣機車と蒸氣機關車の橋梁に及ぼす影響の比較。一般に蒸氣機關車よりも電氣機車の擊衝は小にして約 20~40 % 低く見積り得べし。
- (2) 通過機關車の構造及速度並びに橋梁の支間に應じて、合理的なる設計荷重クーパー E の數を求め夫を用ひて經濟的の橋梁計畫を立て得べし。
- (3) 橋梁以外に公式を使用し例へば ρ を枕木間隔に置きて軌條の損傷摩耗等を論じ得。

(終)