

橋脚周囲の洗掘作用について(二)

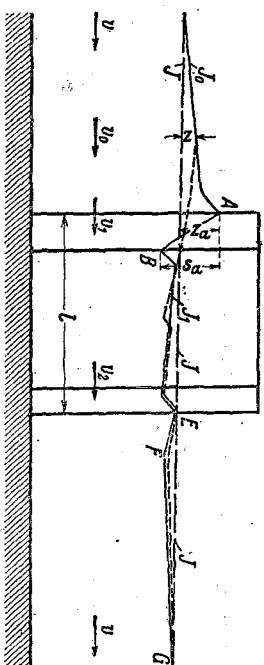
鈴木清一

III 洗掘の原因としての水面運動

(1) 橋脚縦軸内及橋脚側面の水面運動

以上記述せる資料に基き先づ橋脚縦軸内及橋脚側面の水面運動を考察するに、橋脚建築前の水面を J とすれば橋脚建築により水面は嵩上し上流部にあつては J_0 となり橋脚尖端に於ては Z_0 となる。(第 45 圖参照)

次に水面は断面狭小の部分に入ると共に流速を増加し最深點 B に降下し、それより水面は再び高まり、次いで J_1 なる勾配に移る。狭小部を過ぎる前に水面は再び高まり後頭部尾端にて略 J に達し、再び F 點に下り G に於て J なる水面に



第 45 圖

復讐する。此橋脚製造による堰上高に就ては物語博士の公式等により精密に計算し得べく、こゝに述べないが堰上高の計算は單に上流部冠水の被害等のみの爲でなく後述の如く洗掘に重大な關係あることは特に注意すべき事なりと信ずる。橋脚の断面形が前頭部圓弧（接角 135° ）後頭部半圓の場合は堰上高 3.4 mm 、魚形にては 3 mm 或は 1.8 mm となる。第3圖にて觀る如く前頭部の形狀と共に Z_a 及洗掘深に變化を來してゐる。又第7圖を觀れば同一の前頭部接角を有するものは Z_a が全部同一高であつて、後頭部の形狀如何に不拘ぬ事が分る又前頭部先端に於ける洗掘深にも影響しない。但、魚形の場合のみは特別で Z_a は 3 mm を示すに過ぎない。第45圖の $A B$ 間の急勾配は河床を洗掘する力として働くものと考へらるゝ事は第3圖が之を示してゐる。

流水方向に斜に築造せられた橋脚の兩側に於ける水面に就いては特に興味あるものであつて、（第12圖参照）此場合上流側に接して觀察を進むれば最高の背水高は前頭部の尖端に生ぜず側面に生じ高 4 mm となる。下流側面にあつては水面は前頭部尖端より急速に下り急速に増加し通水路断面の増大に反して流速を減じ水面は高まる。兩側面を比較對照すれば二つの全く相反した水面運動を起してゐるのであるが、上流側に於て背水高 4 mm は比較的小であつて、此原因としては橋脚側面が下流に向ける側の急激な水面降下により此通水路の方へ水を誘導する結果と考へられる。

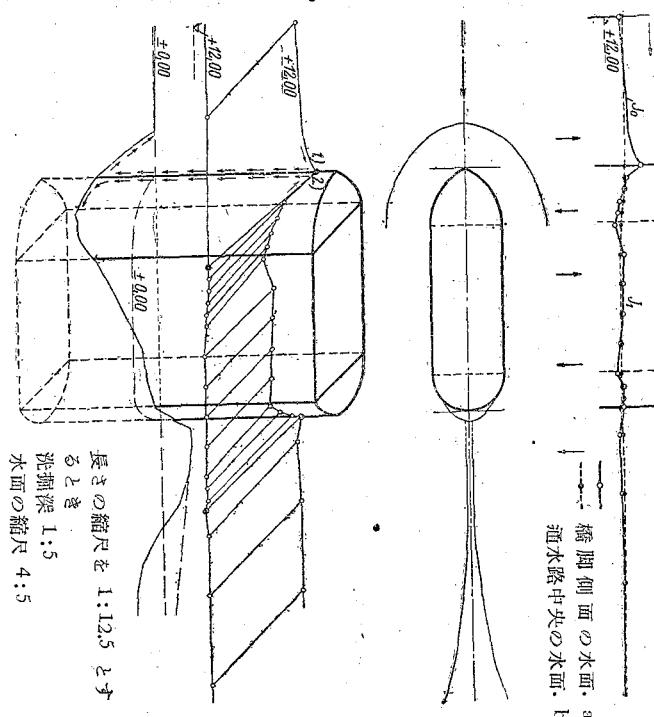
（2）通水路中央に於ける水面運動

通水路中央に於ける水面高は一般に第45圖に見らるゝ如く上流部背水曲線と共に高まりつゝその流速を減じ V は V_0 となり橋脚縱軸内及橋脚側面に沿ふ水面が前頭部先端に於て最高となるに反し稍手前に於て已に低下し始め通水路断面が狹小となるに従つて流速を増加し V_1 となり水面勾配は J_1 である。この水面は一度最低點に下降してより大體橋脚側面に

沿ふ水面と殆ど同一高となり G に至るが、此際注意すべきは通水路中央に於ける水面の方が稍高位にであることである。

(3) 洗掘の原因としての横勾配

以上の水面状況を比較考察するに第 46 圖に示す如く橋脚側面の水面 a は通水路中央の水面 b に比して前頭部上流の一點より下流の或點までは高く、こゝから b は a より高くなる事を示してゐる。即、横断勾配は或點では勾配が橋脚に向つて下り或點では橋脚から外へ向つて下る事となる。流水の方向に斜なる橋脚はその兩側に於ける水面差の大なる事を示し、魚形の場合には上流に尖頭を有するものがその差の最小なるを示してゐる。此横勾配は水平軸を有する渦巻を形成するものと考へられて居り、Engels 氏の如きもその論文中に此事を述べて居る。此渦巻は底流と共に河床の洗掘に働き事實横勾配と共に



第 46 圖

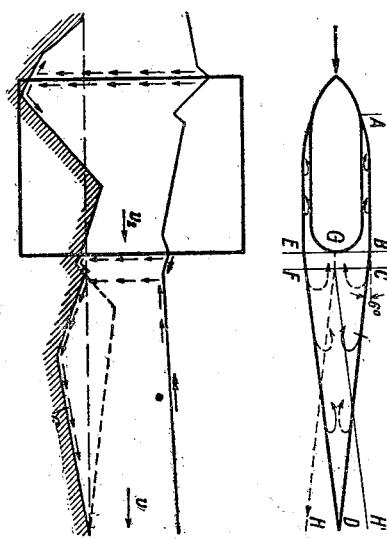
に壓力差の大なる毎に河床に及す作用は非常に大となるのである。此横勾配の大きさは前述の如く橋脚前頭部の形状に關係し、又水面が水流方向に逆勾配をなす前頭部の尖端が注意すべき渦運動の出發點であつて、第 46 圖中の（1）なる渦運動が橋脚前頭上流部洗掘の原因となる。

横勾配によつて生ずる（2）なる渦運動は橋脚側面を洗掘するものであつて、河床の洗掘せられたる物質は通水路中の強い流れによつて運ばれ後頭部の形によつて下流に沈積するのである。前頭部の接角 29° , 12° のものは他と異り背水も小であり、従つて横勾配も小である。

（4）種々なる形狀を有する橋脚断面による表層流

今模型試験の觀察點を變えて之を平面的に見て水流が如何なる方向を取るやを觀察して見る。既述の第 31 圖～第 34 圖にても知らるゝのであるが細き糸を水中に流してその表層流を測定し得るのである。

今橋脚断面に前頭部圓弧、後頭部半圓より成る第 47 圖の如き場合を觀るに、上流からの流糸は前頭部尖端より兩側に分れ側面に接し A 點に於て側面を離れ B 點に至るまで直線にて進むのであるが此際側面に接して縱軸を有する所謂側

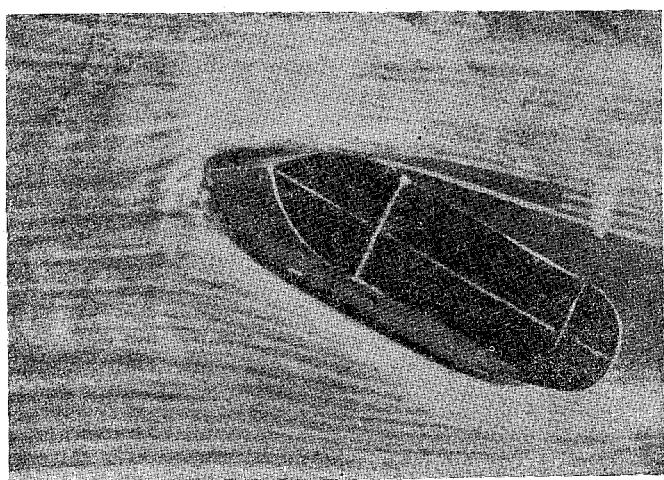


第 47 圖

面渦巻が生じて居り、前頭部尖端の渦巻によつて洗掘せられた物質はその幾分は此側面渦巻によつて側面に沈殿を生ぜしめる。B 端よりは流水断面は再び舊に復するのであるがこゝに於て流糸は約 6° の角を有して橋脚縦軸方向に曲がり D 點に於て左右の流糸は合するのである。

此間に於ける後頭部下流の楔形の部分には橋脚側面部分と同じく縦軸を有する渦巻があり、水面は流れの方向と逆な勾配をなして居り、前頭部にて洗掘せられし物質をこゝに沈殿せしむるの役をなすのである。尙此下流部に於ては特異なる洗掘現象がある。即その一つは B C 間の水面勾配による洗掘と後頭部尾端からラッパ狀に洗掘が出来ることである。

此ラッパ狀の洗掘は順流部の水流が C D F なる楔形部分の逆勾配の作用を受けて底流となり G H 若くば G H' の方向に流れ去るためである。前頭部をそのままとし後頭部に尖れる形状のものを採用すれば圖中の楔形 F D C の部分は減少し、後頭部尾端の洗掘深は減少する。又水流を斜に受くる橋脚にあつては(第 48 圖参照) 流糸は上流に面した側面に沿ふて急に向きを變え、下流に面した側面では約 6° の角度をなして流れ、この間に生ずる扇形の部分には縦軸を有する渦巻を生じ洗掘せ



第 48 圖

られし物質を沈澱せしむる。

魚形の場合には第 49

圖に示す如く側面に沿ふ

て側面渦巻の生ずべき事

が知られ、之が沈澱作用

をなし、又底流は殆ど認

められない。第 50 圖の

如く置けば前頭鋸角の部

分には流糸が密着し後頭

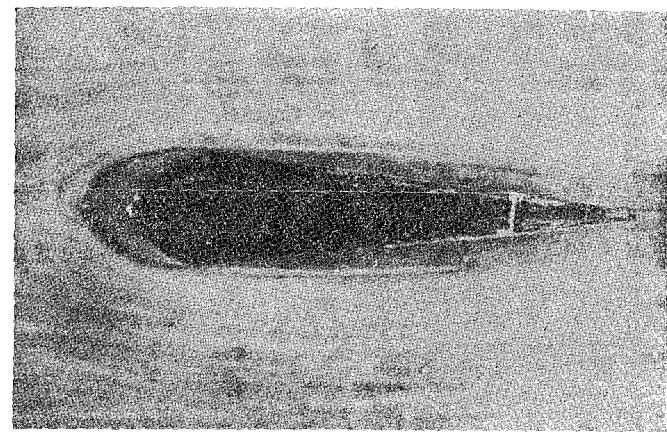
部に於て初めて楔形の部

分が出来るのであるが前

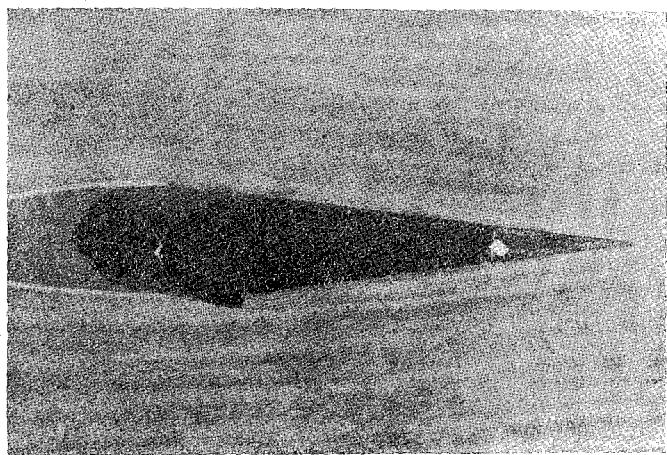
頭部に於て僅ながらも洗

擗せられた物質はこの楔

形部分に沈積する。



第 49 圖

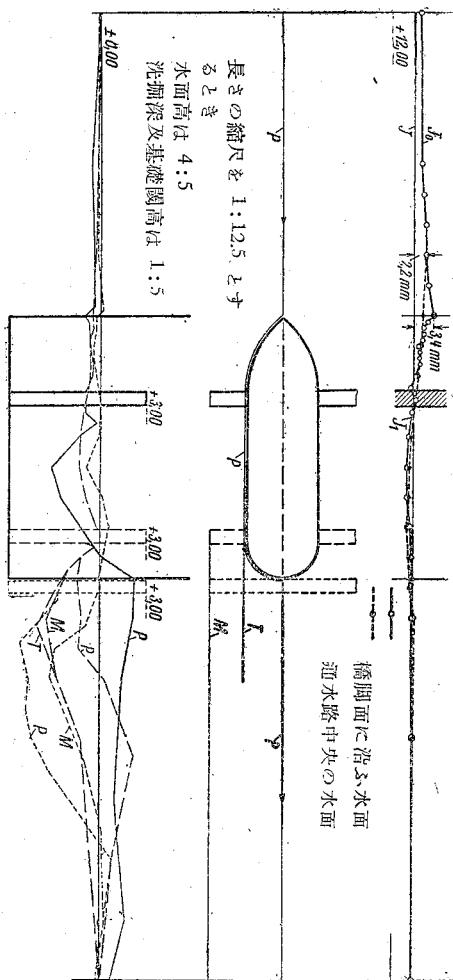


第 50 圖

IV 洗掘の防護方法

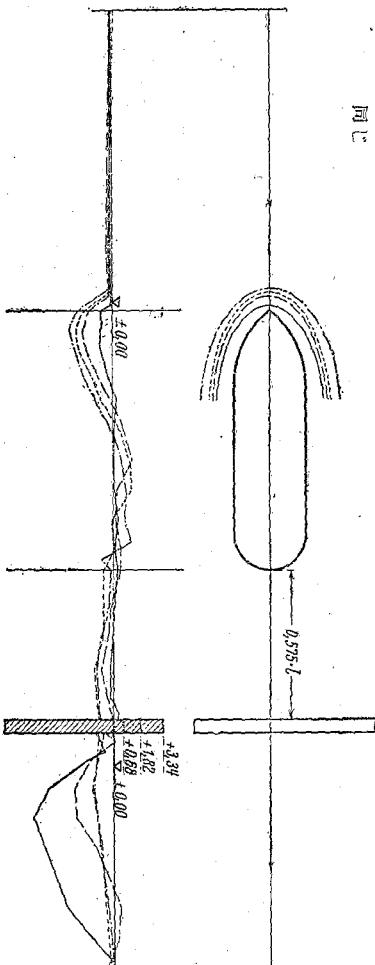
(1) 概 説

諸論に於て述べし如く各種の防護方法が考へられ、就中洗掘を小ならしむべき橋脚断面形の研究を各國水理實驗所に於ける模型試験によりて幾分なりとも明かになし得たりと思はるゝのであるが結局多少なりとも洗掘は附隨するものであつ



縮尺は 51 圖に

同じ



第 52 圖

て殊に水流が斜に當る場合は著しきものとなる。橋脚断面形を最も合理的に定め而して第一には根入を充分にすることである。併し各種の事情から實行し得ざる場合にあつては第二段の方法として根固捨石、又は石張、沈床等の床固め方法がある。捨石、石張等の如く萬一その外間に洗掘を生じ一端より崩れ始めたりとするも石其物の重量が到底その河川勾配にて流下さるゝ懼なき大なるものならば其場所に只々沈下するのみであつて急激に橋脚其物の破壊を生ずる如き大事を起す事は歟ない。然るに沈床の如きは一端よりめくれ始める時は之が流水にあふられて大障害となり大事を惹起する懼

があるから注意を要する。

(2) 基礎闕

Engels 氏は捨石の外に橋脚下流部に基礎闕を設くことを提議したのであつた。此提議に關して Danzig の水理實驗所に於ては同高の基礎闕を橋脚の三つの異なる場所に設けて各々の洗掘状況を試験したのであるが其の結果は第 51 圖及第 52 圖に示す如くである。此有効作用として考へらるゝ事は基礎闕の築造によつて橋脚前頭部の堰上高を減少せしめて此箇所の洗掘深を小ならしむるにあるのであつて實驗の結果事實有効ではあるが基礎闕下流に矢張り大なる洗掘を生ずるのである。故に基礎闕の築造はその位置より上流部を保護するが下流部は保護し得ない事が分る。次に橋脚を離れた或距離に之を設けたが矢張り略々同様な事を知り得たのである。

次に木橋の場合に設けらるゝ墨除杭の効果について考察すれば、II-(3)-(b) に述べたる新設橋脚及既設橋脚との關係及この基礎闕の場合を併せて考へる事が出来る。即、橋脚自體に墨芥が附着し流水斷面を縮少し、堰上高を大ならしめ前頭部河床に大なる洗掘の生ずるを防ぎ、且流水の衝突により橋體の押流さるゝを防ぐものである。尙此外、流水等により橋脚柱自體に直接の被害を與ふるを防ぐ事も出来る。墨除杭にかゝれる墨芥により墨除杭下の洗掘は大となるがこの影にある橋脚は之によつて洗掘を小ならしむる事が出来ると思はれる。橋脚と墨除杭との間隔は餘り大となつては効果を減殺されるのである。

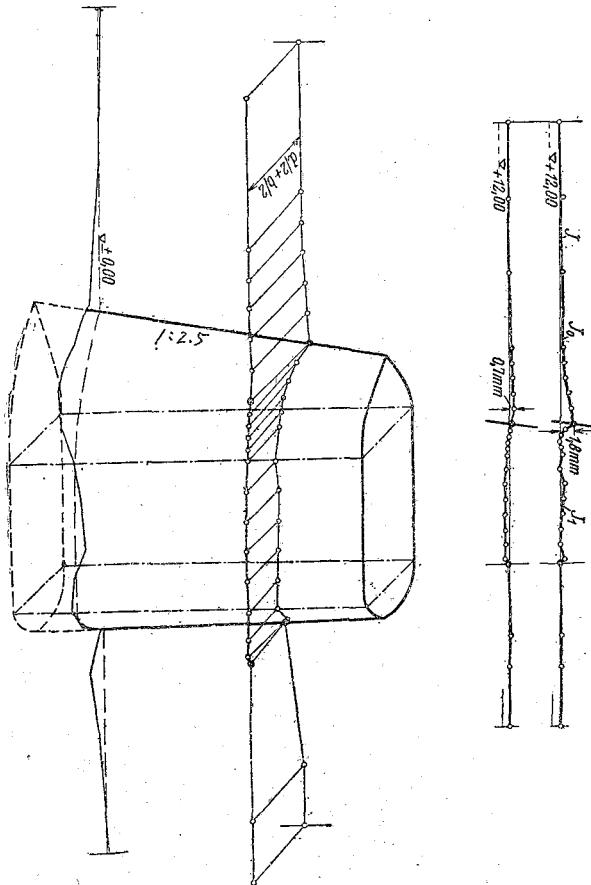
(3) 理想的橋脚断面形狀について

以上各種の模型試験の結果より綜合して洗掘に對して最も安全にして且つ實施し得る橋脚断面形狀としては果して如何

なるものなるかを考察して見よう。第 53 圖に示すものは略此目的に適したものと云ふ事が出来る。即、此場合は後頭部下

流に生ずる洗掘は危険ならざるものとして半圓型とし前頭部のみを 1:2.5 なる勾配を以て上流に深さに應じて接角を鉛角ならしめたものであつて、模型試験の結果は前頭部に於ける堰上高も小となり洗掘深は減じ比較的廣くはなつたが一様な洗掘状態であつたのである。(前頭部形狀は河床にて接角 76° であ

第 53 圖



つて河床上 30 cm の高では半圓形となる如き、丁度平面的に見て第 4 圖の如き形態を與へたものである。)著者は實施上障害なき限り第 53 圖に示す橋脚斷面中橋脚兩側面間距離を上方より下方に下るに従つて大ならしめ、前

頭部は接角 76° の圓弧を以てし、

上流にて下方に下るに従つて擴

ば、同様に後頭部に於ては前頭部

の 76° の代りに 83° 位の接角を

保たしむるを理想案として提唱し

たいと考へる次第である。但、此

場合橋脚の高大なるときは上方か

ら下方への擴りは河床以上 3~

4m の範囲に行ふるものとし、これ

より上部は少量の傾斜を附するも

のとする。

こゝに御参考までに一言申述べ度

きは我國の名橋錦帶橋の下部構造

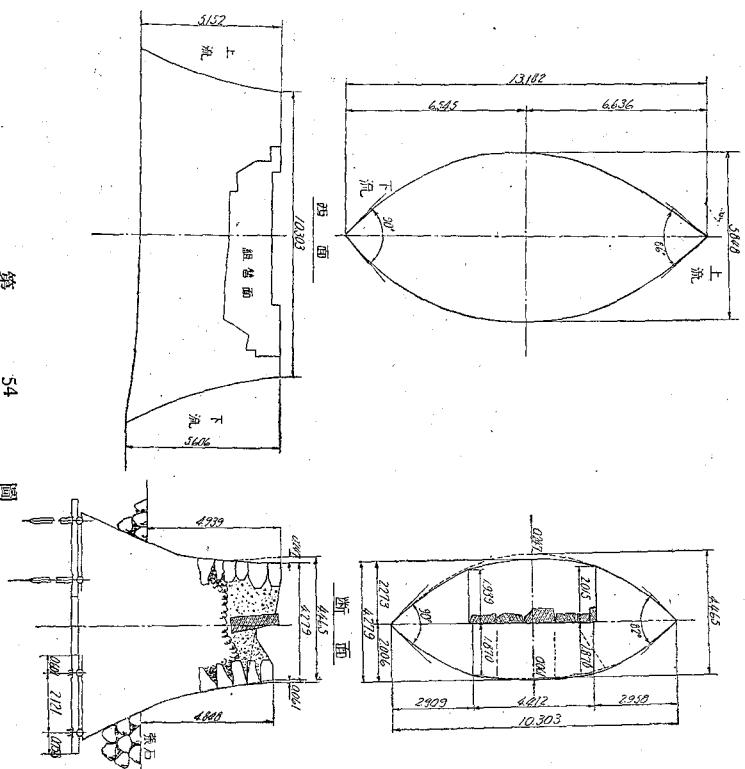
である。同橋は岩國藩主吉川廣嘉

公により計畫せられ延寶元年六月

着工し同年十月竣功したものであ

張石面=外輪平面

平面圖



つたが翌年五月に大洪水あり、橋脚の破壊から拱橋全部墜落したのであつたが再び六月起工し同年十月竣工したのである。今日に至るまで 264 年間、上部構造は木枠の腐朽により幾度か同型に架換されたのであるが下部構造は見事現在に至るまで使用に耐えてゐるのであって上部構造の精緻なると共に實に驚異に値するものである。橋脚は河中に約 36m を隔てゝ 4 基あり、その断面形状は前述の洗掘作用に對し最も合理的なる形狀を有するものであり、且流水方向をよく観察して橋脚各個をその建築個所の流水方向と一致せしめてある事は注意すべき事項である。

橋脚はその断面が一つの約菱形をなし側面は平行部分なく前頭部の圓弧はその接角河床に近き部分は 76° であつて上部にて 82° を有し、後頭部圓弧の接角は上下部共に 90° であつて既述の模型試験等にて確かめたる結果と期せずしてよく一致してゐる事は實に欣快に耐えないものがある。(第 54 圖参照)

専橋脚防護としこの外に河床全部を亘つて床固めとして石張が施工されてゐるのであるが之は竣工後三年を経たる延寶五年に行はれ現在に及べるものと傳へられてゐる。即上下流 110m に松丸太の亂杭を打ち込み捨石をなし更に第二層目は上下流 73m に、上層を上流 18m、下流 55m に張石をなし河間中央部をやゝ底めて仰拱型としてある。

V 結論

以上を要約して述べれば次の如くである。

1. 模型試験によつて環境の條件を同一にすれば相互の比較はなし得らるゝが直ちに實際の場合の量的判断を行ふ事は困難である。橋脚断面形の選定には或程度信頼し得らるゝ事と信ずる。

2. 我國の地形上各河川は急峻であり土石流、流木等思はざる外力の働く場合多く、橋脚の型式としては一般に壁體式のものを採用すべきである。外力の適正なる假定に立脚した計算をなしして安定度を検すると同時に施工に際しては基礎が岩盤なりとするも相當の根入なくば脚部固定とする假定は成立せず、又周囲の埋戻しは特に流下の懼なき大石を以てし、出来るならば粗石コンクリート等にて填充することが望ましい。橋脚の断面形状については洗掘の最小に止まる様前頭部接角76°位とする可とする。又流水の方向と正しく一致せしむる事が肝要であるが實際の場合多少の相違はあるとしてもその角度が微小なる時は洗掘に大なる變化は生じない。
3. 桁構型橋脚は土石流、流木等の危険なき場合に限り使用せらるべきものであるが、河床の洗掘について壁體式と比較するに柱構型の断面の如何により一概に決ることは出来ないが、前頭の部分の形状を壁體式と同一なりとするも大體に於てこの型式のものは良好でないと推定される。
4. 脈設の橋梁に接して新橋梁を設くる場合には脈設橋梁の橋脚根入十分なる場合は下流に接して又十分ならざる場合は上流に接して徑間を等しかより大として正しく橋脚軸線を一致して設くべきである。
5. 圓筒型橋脚を河川中に並べて河川を斜に横切ることは特殊の場合の外は避くべきである。
6. 洗掘防護方法としては適正なる捨石工又は石張工を可とする。
7. 我國の橋梁徑間は地勢に比して一般に過少なりと思はれる。特に道路橋に於てその感が深い。災害頻發を防止する上から、橋脚周囲の洗掘を減じその安定を計る爲めにも思切つて大徑間を採用すべきであると思ふ。(完) (11・5・14日)