架構新論

鷹部屋福平

岩波書店

工學博士　鷹部屋福平著

架構新論

1928

岩波書店刊行

序

晩近鐵筋混凝土構造並に鐵骨構造の發達は土木建築界に於ける驚異である。各方面是等の材料によつて築設せられたる構造物は其様式に構法に多種多様を極めつゝある。

特に震災後の我邦は强剛なる材料と構法とを選ぶの必要を痛切に體驗したる結果として鐵筋混凝土構造は最適の材料であり且つ構法であることに想到したかの感がある。

此鐵筋構造が將來に於て尙且つ甚だ有望なるは贅言を要しないところであるが此構法の强剛性は其必然的結果として不靜定應力の誘導を伴ふものである。由來不靜定應力の計算は構造力學に於ける高級理論で其理解も比較的困難であり計算も冗長を極める類のものである。而して此種の構造の設計を嚴正な理論に基いてなさんとするには不靜定應力の解法に熟達することが必要である。或は最小働の原理により或はカスチリアノ氏の働の原則により或は又撓角撓度法によつてこれが解法に最近花が咲きつゝある。

著者は玆に架構理論に就いての小著を思ひ立ち撓角撓度法による解法と著者の提案になる機械的

作表法に依る解法を說明し單一荷重による應力計算を基礎とすべき解法をも併せ載せることにした。

今若し此小著が同じ學究の幾人かをして刺戟鼓舞するの何ものかを與へ同じ部門の同種の問題に對して更に發達進步を促すの動機を作るべき何ものかを與へるならばそれは著者のみの幸では無い。

今や散佚し易きノートの整理の後茲に上梓したる杜撰なる拙著に對しては著者自らが其薄識と菲才とに聽て忸怩たるの日ある可きを信じつゝも資料の二三は之れを筐底深く藏するに忍びざるものあり卽ち敢て之れを公刊した。而して推敲尙完ならざるものあり疎漫晦澁必ずしも魯魚の誤のみにあらざる可く讀者諸君の同情と高敎とにより紕繆脫漏を補綴し漸次之れを改竄せんことは著者が今日の切望に他ならない。

昭和二年夏

札幌に於て
著　者

目　次

序　編　理論と實際との境界 ……………前付 1—14
第一編　單一荷重を基礎に置く解法 …………… 1
I. 變形働の概論 …………… 1
1. 働の說明
2. 內働の說明
II. カスチリアノ氏法則 …………… 6
III. 最小働の原理 …………… 7
IV. 單一荷重を基礎に置く解法 …………… 9
V. 架構の解法に應用したる單一荷重に依る考察 …………… 13
1. 架構の解法に應用せらるゝ働の表式
2. 架構の解法に應用したる單一荷重を基礎に置く方法
a. 垂直荷重をもつ鉸脚矩形架構
b. 水平荷重をもつ鉸脚矩形架構
c. 垂直荷重をもつ鉸脚弧形架構
d. 垂直荷重をもつ鉸脚尖頂架構
e. 垂直荷重をもつ固定脚矩形架構
f. 水平荷重をもつ固定脚矩形架構
結　論 …………… 31
第二編　撓角撓度法による解法 …………… 33
I. 撓角撓度法の歷史的考察と文獻 …………… 33
II. モール氏法則と其擴張 …………… 35

III. 荷重項の準備計算 ……………………………43

IV. 架構計算への應用と假定

不靜定未知量の選定竝に決定 ……………………49

V. 基本表式と平衡方程式の標準形 ……………56

1. 基本表式
2. 平衡方程式の標準形
   - a. 接合點に於ける平衡方程式
   - b. 階全體としての平衡方程式

VI. 基本表式及平衡方程式の應用 ………………81

1. 單層單徑間の矩形架構
   - a. 垂直荷重をもつ鉸脚矩形架構
   - b. 垂直荷重をもつ鉸脚異高の矩形架構
   - c. 水平荷重をもつ鉸脚矩形架構
   - d. 水平荷重をもつ鉸脚異高の矩形架構
   - e. 垂直荷重をもつ固定脚矩形架構
   - f. 水平荷重をもつ固定脚矩形架構
2. 二層二徑間の矩形架構
   - a. 垂直荷重をもつ二層二徑間の固定脚矩形架構
   - b. 垂直荷重をもつ二層二徑間の鉸脚矩形架構
   - c. 水平荷重を一側の接合點にもつ二層二徑間の固定脚矩形架構
   - d. 水平荷重を一側の接合點にもつ二層二徑間の鉸脚矩形架構
3. 對照關係にある建築架構
   - a. 部材の端部を固定點の如く考ふる場合
   - b. 部材の端部を鉸點の如く考ふる場合

   - c. 柱の端部を固定點の如く考へ水平部材の端部には一定のモーメント働き $\varphi_A=-\varphi_2$, $\varphi_B=-\varphi_2'$ なる場合
   - d. 柱の端部を鉸點の如く考へ水平部材の端部には一定のモーメント働き $\varphi_A=-\varphi_2$, $\varphi_B=-\varphi_2'$ なる場合
   - e. 上部の柱の中心に反曲點を考へ其他の部材の端部は固定點の如く考ふる場合
   - f. 上部の柱の中心に反曲點を考へ其他の部材の端部は鉸點の如く考ふる場合
   - g. 總て柱の中心に反曲點を考へ水平部材の端部は固定點の如く考ふる場合
   - h. 總て柱の中心に反曲點を考へ水平部材の端部は鉸點の如く考ふる場合
   - i. 上部の柱の中心に反曲點を考へ下部の柱の端部は固定點の如く且つ水平部材に對して $\varphi_A=-\varphi_2$, $\varphi_B=-\varphi_2'$ の如く考ふる場合
   - j. 上部の柱の中心に反曲點を考へ下部の柱の端部は鉸點の如く且つ水平部材に對して $\varphi_A=-\varphi_2$, $\varphi_B=-\varphi_2'$ の如く考ふる場合
   - k. 總て柱の中心に反曲點を考へ水平部材に對しては $\varphi_A=-\varphi_2$, $\varphi_B=-\varphi_2'$ なる場合
   - l. 上部の柱の中心に反曲點を考へ水平部材の端部は固定點の如く下部の柱の端部は鉸點の如く考ふる場合

m. 上部の柱の中心に反曲點を考へ水平部材の端部は鉸點の如く下部の柱の端部は固定點の如く考ふる場合

第三編 機械的作表法に依る高層架構の解法…120

I. 理論と應用の範圍……120

II. 記號配置上の新考察と平衡方程式表示上の性質……121

a. 記號配置に關する規則と記號の意味

b. 平衡方程式表示上の性質と表式の確實性

III. 高層多徑間の矩形建築架構への應用……130

1. 非對照的條件に於ける架構

a. 三層六徑間の固定脚矩形架構

b. 三層六徑間の鉸脚矩形架構

c. 五層二徑間の固定脚矩形架構

d. 五層二徑間の鉸脚矩形架構

2. 對照的條件に於ける架構

a. 五層八徑間の對照的固定脚架構

b. 五層八徑間の對照的鉸脚架構

c. 八層三徑間の對照的固定脚架構

d. 八層三徑間の對照的鉸脚架構

IV. 建築架構以外への應用……135

1. 記號の配置順序に關する吟味

2. 連續桁其他への應用

V. 計算例題……151

VI. 機械的作表法の長所と結論……161

VII. 繰返試索法に依る簡易計算法……163

補綴編……177

架構新論

理論と實際との境界

1. 荷重と反力とに就て

荷重とは外から構造物に荷せられる力で反力とは此荷重と外的平衡を保つ爲めに荷重後に構造物に作用する力である。此兩種の力を總稱して外力と呼び部材内に働く内力と區別して居る。但し吾吾は一般構造强弱學に於て取扱はれる樣に構造物夫れ自身の重量は考慮の外に置くことにする。而して必要に應じて此ものに對する影響は別に考へることゝする。

此外力間の靜力學的平衡の問題を理解し易い樣に水平部材が脚部に於て剛固に取付けられた一架構に就て考へて見る(*Fig. 1*)。今此架構が *Fig. 1* (*a*) に示す如く或る水平な地盤の上に橫はり垂直荷重 P を受けたものとする。若し此地盤が荷せられた重量に對して充分抵抗し得る力を出し得た場合には此架構は其儘其地盤上に在つて平衡を保ち得る卽ち此地盤は上にかゝる荷重を充分保持する支持力を出し得るものである。此支持力を地盤が持つ

て居るといふことが明瞭となつて初めて此力系は靜力學上の問題として取扱はれ得る可能性をもつものである。

此際地盤が出すところの支持力は其上に荷せられた一切の荷重に其總量に於て等しいものであることは靜力學の第一歩に於て吾々が學んだ平衡條件の一つ"垂直分力の總和が零"といふ平衡力系の重要な關係を滿足するものである。

若し此條件を滿足せずして上からかゝる荷重が下から働き得る支持力よりも大である場合には此構造物は荷重と共に地盤の中に沈下せざるを得ない。此沈下の中止した時が支持力と荷重とが平衡した時である。

若し又此考察を逆にして下から作用する支持力が上から加はる荷重よりも大である場合を想像すれば構造物は理論上空中に浮き上らざるを得ない。斯くの如き現象は實際の場合としては生じ得ないものである。

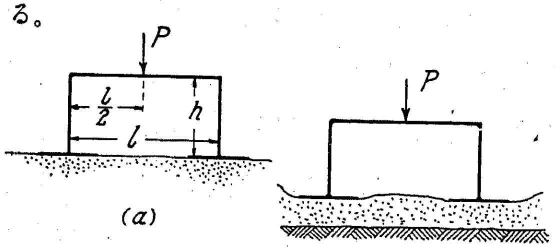


Fig. 1.

上述のことから吾々は自然が與へる重要な眞理"自然は必要以上に力を出すものにあらず"といふ自然經濟の大法則に想到することが出來る。而して此處に吾々が不靜定應力の研究に於て屢々廣く應用するところの"最小働の原則"が生れるのである。

卽ち此力系が平衡にあれば自然は必要程度の支持力を出して釣り合ひを保たしめるもので此反力と荷重とは等大反向のものであるが其反力分布の狀態に關しては未だ既知の材料は不充分である。例へば反力分布の狀態は拋物線形を爲すものであるか等布的に直線形を爲すか。是等に對しては地盤並に水平部材の性質に精通せざれば分明せざる事柄である。

次に若し下の地盤が軟弱にして此荷重をよく支持すること難く沈下したものとする。今此地盤の軟弱性が何處までも同じ狀態で續き同樣に支持力を出すの能が充分無いならば構造物は地中深く沈下を繼續しなければならない。併し事實は幸に深度を加ふるに從つて地盤は硬くなつて行く。そこで例へば或る深度に於て沈下が止まつたと假定すれば平衡に就て前述した理論は此時此場合適用せられるものである。併し前同樣反力分布の狀態に

就ては其地盤の狀況を調査し其性質を實驗的に研究するにあらずんば之をよく忖度し得ないものである (*Fig. 1, (b)*)。

是等の問題は嚴密な意味に於ては諸君と著者とに取り殘されてある未解決な研究題目である。併し其反力分布の狀態を等布と假定し又は他の簡單な曲線形に假定すれば此問題は至極簡明平易な問題となる。

2. 外力の明瞭性と曖昧性

構造物の部材内に働く内應力の大さ並に性質を知るには之を惹起す原因である外力の大さと性質とを先づ明に知らなくてはならない。然るに實際問題として此外力を考へる時其大さ並に分布の狀態を如何に考ふべきかが既に問題となることが多い。吾々が學校に於て學び敎科書に於て讀んだものゝ中には現實世界から切り放された理想世界での研究推理が多い。其處では幾つかの同一問題が成立し同一結果と同一解答とが導かれる。併し現實の問題は複雜極まりない。此複雜性な實際問題を簡單化して實用向きであり役に立つ有難い知識の爲めに外力の假定が此意味に於て必要となつて來る。今外力に就て普通定義して居るものゝ一二

を擧げて之れを實際問題と結び付けて考へて見る。

先づ第一に集中荷重とは如何なる荷重を意味するか。構造物に外から働く荷重の接觸面が構造物の考へる部分の大さに比較して幾何學上の點として考へても支障を生じない程度のものであれば此荷重を集中荷重と呼んで居る。併し比較考察としての此定義が確實性を缺くことは議論を俟たない。此種の荷重は之れを又單一荷重とも呼ぶ場合がある。普通吾々の研究が一平面内に於てのものである關係上荷重の接觸面が此平面に直交する直線と考へられる場合にも之れによる截斷面が點と考へられる關係から此種の荷重を同樣な名稱のもとに取扱ふことに慣れて居る。

次に同一强度を以て一樣にかゝる荷重に對して等布荷重の名稱を用ひて居る。水平地盤上の水槽の底面に働く靜水壓は此一例である。是等の荷重は性質大さ共に明瞭な部類の荷重であるが之れに反し風壓の如きは曖昧性顯著な一例である。併し構造物設計に對し頗る密接な交渉を持つ風壓に對しては理想化しての風壓を假定して技術家は其職務を果さなければならない。

斯くして問題を實際問題に求める時不明瞭な此種の力は限り無くあることであらう。吾々が理論

として特に此書の中で取扱ふものは其大さ竝に性質が明かな荷重であることを必要とする。若し又それが曖昧性の荷重である時も之れを出來る丈け合理的な假定の下に一定の荷重になし得る場合に限り之れを計算にのせて取扱ひ得るのである。

此れと同樣な考察は反力に關しても適用し得る。即ち應力狀態を研究すべき第一の構造物が地盤若しくは之れに取り付けられた第二の構造物上に置かれる場合前者と後者との接觸が點として考へられる程度の僅少面積のものである場合には反力の性質は明瞭性のものである。若し又其接觸面が表面として考へる必要ある程度のものであれば問題は複雜性を增すものである。而して一平面內での力系の考察からこれが直線又は曲線となる場合特に同一强度の等布反力の假定は問題の解決を最も簡單にする。

3. 環境條件に就て

問題を合理的に解くには其處に現れて來る周圍の環境條件が全部既知であることを必要とする。而して材料の性質が數多き實驗に依つて一定した既知のものであり時と場所とを撰ばず常に同一結果を與へるものでなければならぬことである。

此點から考へて見ると今日吾々が取扱つて居る問題は頗る種々雜多で餘りに複雜し過ぎて居る。此爲めに嚴密な意味から考へては計算に載せ得ないものが數多くある。併しさし迫る實際問題から何んとか其處を比較的合理的に切り拔けんとの努力から幾つかの假定が生れて來た。而して其等の假定は實在の構造物がそれ自身を見出す環境に於て適當に技術者によつて變せらるべき性質のものである。

環境條件の全部が定つた時外力系は全部既知となり平衡狀態に於て構造物がとる可き形定り問題は靜力學を基礎に置いて解決せられる。

4. 支點材料の性質に因る種々相

部材が地盤又は側壁と如何なる構造によつて取付けられるか如何なる性質の材料中に埋設せられるか。此着眼は少くとも部材の彈性曲線を決定するに重大關係をもつものであり其應力計算に對して重要視すべき環境條件である。

吾々は實際的問題に接近する目的で一架構が或材料の基礎の中に埋設せられるものを想像し之れに就て支點材質の支點部に生む種々相に關し詳論して見る。

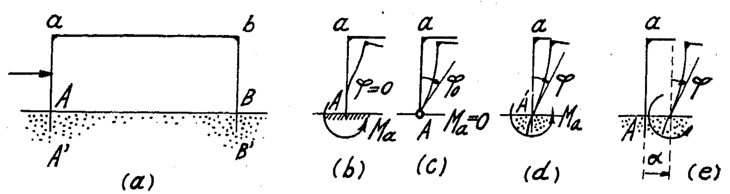


Fig. 2.

普通吾々の着眼が基礎の內部に立ち入らず唯上部の架構に就てのみ行はるゝ關係上 *Fig.* 2 (*a*) に於て吾々は單に架構 $ABab$ を考へ其延長として考へられる $A'B'ab$ を考へることをしない。而して吾々が普通考へるところのものは二種類の極限の場合 *Fig.* 2 (*b*) 及 (*c*) である。此中 *Fig.* (*b*) は固定支點を示し *Fig.* (*c*) は鉸支點を示すものである。玆に極限といふ語を用ひたのは次の理由に基くものである。

今便宜上二個の支點の中一個の支點 A に就て考へて見る。

若し A 點の基礎の材質が A 部々材の回轉に對して何等の抵抗性を有せざる場合には A 點は靜力學上 *Fig.* (*c*) と全く同樣の作用を呈する。而して此場合回轉角度 φ は其荷重に對して最大値 φ_0 を取り此點の力のモーメント M_a は零の筈である。

若し又 A 點の基礎の材質が回轉に對して完全抵抗性のものであれば A 點は靜力學上 *Fig.* (*b*) と全く同樣な作用を成し此場合回轉角度 φ は零であり其荷重に對して力のモーメント M_a は最大値をとる可き筈である。

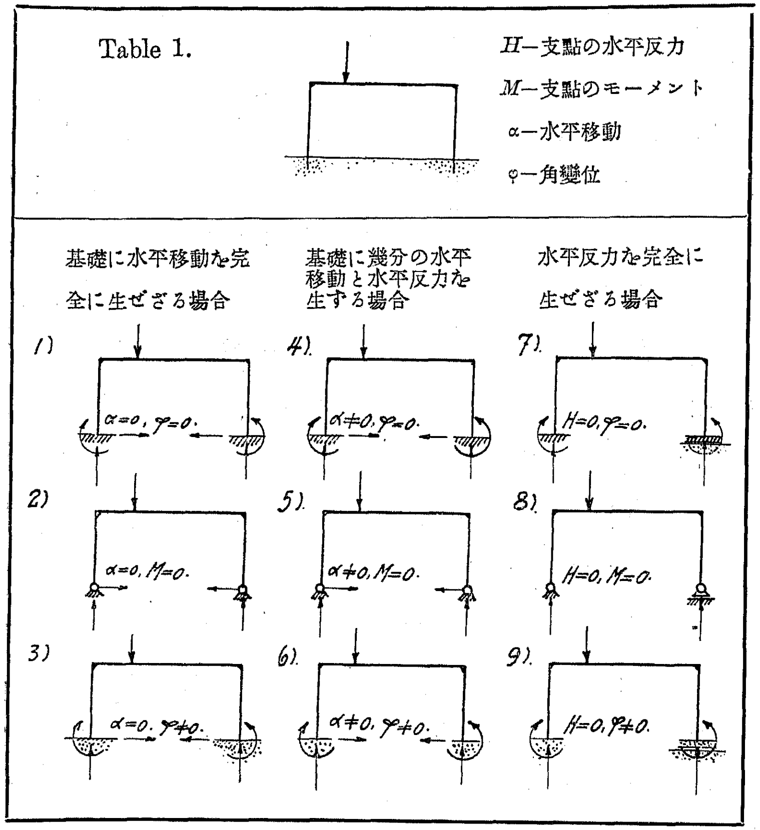
而して事實に於ては *Fig.* (*b*) 及 (*c*) の如きものは共になかるべく其中間に位するものであらう。卽ち *Fig.* 2 (*d*) が示す樣に φ も M_a も共に或る値をとる場合がそれである。

以上述べたところは材質の水平推力に對する抵抗性に就ては何等觸れて居ないが若し又 A 點の基礎の材質が水平推力に對して抵抗性を有せざる場合には A 點は此推力によつて *Fig.* 2 (*e*) の樣に A 點の右又は左に α 丈け移動しなければならない。此推力は此種の抵抗性を材質が完全に有せざる場合には最大の水平移動を呈して反力としては零であり之れに反して材質が完全に抵抗し得た場合には最大の水平反力をもつ筈である。

從つて *Fig.* 2 (*a*) に示す架構は AA' 及 BB' を考へず其 $ABab$ を考へた場合にも其支點の材質によつて次の樣な種々の場合を生ずべきである。此考察は普通の敎科書に於ては著者の薄識に於て未だ載せて無いものと考へる。(Table 1 參照)

注意。Table 1 に示す (4), (5), (6) は夫々 (1), (2), (3) と何等差異無き如く示されて居るが前者は基礎に於て水平移動あり後者は之無きもので架構の原位置を示さなかつた爲め同じ圖となつたものである。

Table 1.



此中(1)及(2)は普通吾々が教科書で見る形の架構で前者は固定脚の如く後者は鉸脚の如く作用し共に水平移動は絶無の場合である。若し水平移動が完全に防止せらるゝ構造に於ては此両者は最大角變位をなす場合と最小角變位を示す場合で二つの極限の場合を表はすものと考へることが出來る。或種の基礎材質が水平移動を許すものである場合には(1)若しくは(2)に從つて應力計算をなすことは

當つて居ないものと考へられる。

斯くの如き場合には或程度の水平移動を見込む必要がある。

以上述べたところは實際的問題として架構を取扱ふ時考へられ得る考察であつて一個のビームに對する同樣の考察が時として重大問題を惹き起すべきことを下に示すことにする。

Fig. 2 (*a*) に於て考へたように一架構の問題を *AB ab* に就て取扱ふ時架構の高さ h が次第に減少して其極限に於て h がいくらでも零に近づくものとする。斯くする時は架構は遂に $h=0$ に於て一個のビームとなるべく此際水平反力は如何になるべきであるか。

吾々は普通固定ビームに於て水平移動の可能なることを前提せずして而も此水平反力の誘導に對して何等考へることなしに慣れて來た。

實際問題と交渉深き力學が常識的見解を重要視する樣に吾々は水平に置かれた固定ビームが垂直荷重に對して撓む場合若し其兩端に於て水平移動を許さぬならば自明の理として其ビームが張力に支配せられることを常識的に推理し得る。

Fig. 3 に示すビームは荷重前に於ては完全に固定ビームの條件を備へて居るかも知れない。併し

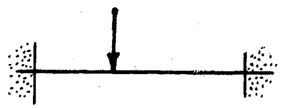


Fig. 3.

吾々が力學的考察を施すものは荷重後平衡の狀態にあるものに就てである關係上固定ビームの外觀を持つて居ても其側壁材質に因つて固定ビームの要件を充分有せざるものが起り得る。或る時は實際に於て單純ビームに接近し或る時は水平移動無き鉸端のビームとなる。此最後の場合に於ては著者の研究に依れば等閑に附す可からざる張力の誘導を見る。

今吾々がビームの問題を單に重學的考察に慣れることなく幾分でも實際問題に接近すべく努力したる結果如上の考察の下に此研究の步を進めるならば單に一個の固定ビームに對しても多種多樣の異れるビームの狀態を想像し得るものである。

今 α を以てビームの一端に於ける水平方向の變位

φ を以てビーム端部に於ける角變位

M_a 及 M_b を以てビーム AB の兩端 A 及 B に於ける抵抗のモーメント

X を以てビームの兩端に作用する水平反力

としビーム兩端が荷重後と雖も同一水平線上に在るものと考ふれば

(1) 水平變位皆無にして(卽ち $\alpha=0$)X が最大に働く場合

(2) 水平變位が完全に許され(卽ち水平方向の抵抗が材料に皆無の場合)從つて X が完全に生ぜざる場合

(3) 以上二つの場合の中間にある時卽ち $\alpha\neq0$, $X\neq0$ なる場合

是等三つの場合が次の如く各々異れる七つの形を取ることゝなり問題は複雜する。

(1) $\alpha=0$ なる場合 $\begin{cases} \varphi_a=0,\ \varphi_b\neq0 & \text{なる場合} \\ M_a=0,\ M_b\neq0 & \text{なる場合} \\ \varphi_a=\varphi_b=0 & \text{なる場合} \\ M_a=0,\ \varphi_b=0 & \text{なる場合} \\ M_a=M_b=0 & \text{なる場合} \\ \varphi_a=\varphi_b & \text{なる場合} \\ \varphi_a\neq\varphi_b & \text{なる場合} \end{cases}$

(2) $X=0$ なる場合 $\begin{cases} \varphi_a=0,\ \varphi_b\neq0 & \text{なる場合} \\ M_a=0,\ M_b\neq0 & \text{なる場合} \\ \varphi_a=\varphi_b=0 & \text{なる場合} \\ M_a=0,\ \varphi_b=0 & \text{なる場合} \\ M_a=M_b=0 & \text{なる場合} \\ \varphi_a=\varphi_b & \text{なる場合} \\ \varphi_a\neq\varphi_b & \text{なる場合} \end{cases}$

(3) $\alpha \neq 0, X \neq 0$ なる場合
$$\begin{cases} \varphi_a=0,\ \varphi_b\neq 0 & \text{なる場合} \\ M_a=0,\ M_b\neq 0 & \text{なる場合} \\ \varphi_a=\varphi_b=0 & \text{なる場合} \\ M_a=0,\ \varphi_b=0 & \text{なる場合} \\ M_a=M_b=0 & \text{なる場合} \\ \varphi_a=\varphi_b & \text{なる場合} \\ \varphi_a\neq\varphi_b & \text{なる場合} \end{cases}$$

更に若し此のαの内容をビームの左右の端部を埋込む材質を異にして分けて考へるならば上述の場合は更に種々相を加へるであらう。是等の考察に關する詳論は下の二册の拙著に述べてある。

Zur Berechnung des beiderseits eingemauerten Trägers unter besonderer Berücksichtigung der Längskraft, Berlin, 1924

Étude des pièces encastrées aux deux extrémités par considération spéciale de la force longitudinale, Paris, 1926

尚 Schweizerische Technische Zeitschrift, No, 47, Nov. 1926 及 No. 50, Dez. 1926 には Rob. Wiederkehr 氏の完全固定性ビームに關する論文が出て居る。其結果は著者の研究と一致するものである。