

して、單に一定の公式にのみ信賴すること能はざるは論を俟たず、特に本邦に於ては、本邦製「セメント」に關する學理的研究の結果に乏しく、鐵筋混凝土の應用も尙ほ未だ盛ならず、隨て其成績を知るに苦むもの多し。故に後章に於て述べんとする理論も素より其大體の原理を明にし最も簡易にして且實用に便なる計算法を述ぶるに過ぎざるなり。

第四章 混凝土、及鐵の性質、 及び其強度。

鐵筋混凝土の理論を述ぶるに當りては先づ是れを構成する各物質の性狀、及其強度を明にせざるべからず。

第十節 壓力に對する混凝土(腸膠をも含む)の強度。

混凝土の抗壓強度は原料の性質、其大さ、配合、及び調製法の如何、竝に經過の年月等により差異あるを以て一定すると能はず。然れども泰西諸國に於ては「セメント」一、砂二、礫四、(以後割合を示すには1;2:4の如く書す若し「セメント」一砂三の膠泥のときは1:3と書す)の割合を以て調製したる混凝土の一ヶ月後に有する破壊抗壓強度は、一平方時につき二千乃至二千五百封度を普通とす。又米國「フータータオン」造兵局に於て千八百九十九年同國製各種の「セメント」につき其抗壓強度を試験したる結

果は下の如し。

セメント 名稱	破壊抗壓強度 (一平方時につき封度)			
	一週	一ヶ月	三ヶ月	六ヶ月
	混凝土配合 1:2:4			
アトラス	1387	2428	2966	3953
アルファ	904	2420	3123	4411
セルマニア	2219	2642	3082	3643
アルゼン	1592	2269	2608	3612
平均	1525	2440	2944	3904
配合 1:3:6				
アトラス	1050	1816	2538	3170
アルファ	892	2120	2355	2750
セルマニア	1550	2174	2486	2930
アルゼン	1438	2114	2349	3026
平均	1232	2063	2432	2919

本邦製「セメント」を用ゐたる混凝土の強度に關しては、未だ信頼するに足る多數の試験結果を得ると能はざるも、膠泥の強度に關し先年農商務省に於て調査したる所によれば下の表に示すが如し。

膠泥(配合 1:3)破壊抗壓強度 <small>一平方「センチ」につき「キログラム」</small>					
セメント名稱	一週	四週	八週	十三週	廿六週
淺野セメント	89.3	132.5	146.3	161.3	151.3
鈴木	99.7	123.7	159.3	147.7	129.3
日本	103.6	139.0	147.3	146.0	152.3
北海道	138.0	199.3	189.3	121.3	202.7
九州	66.6	86.2	112.0	116.0	101.0
佐賀	86.3	136.0	147.0	149.0	165.7
小野田	98.0	132.6	180.6	188.7	194.3
大坂	79.0	105.0	110.0	132.3	141.3
木津川	108.3	150.0	131.7	157.0	172.7
中央	87.0	133.3	128.0	119.3	80.6
三河	110.3	158.6	162.7	164.3	174.3
愛知	85.7	132.6	149.7	169.7	185.7
三重	71.3	81.6	116.6	118.0	102.0
平均	94.1	131.6	144.1	145.4	150.2
農商務省調査					

上の表によるときは、其強度も製造所の異なるに隨ひ非常に相違あるを見る。然れども1:3の膠泥が四週の後には有する破壊抗壓強度は、平均一平方「センチ」につき131.6

kg、即ち1平方吋につき1850封度にして、泰西の「セメント」を用ゐたるものに比するときは稍弱きを知るなり。

本年六月京都帝國大學理工科大學土木教室に於て、本邦製「セメント」を用ゐたる混凝土の抗壓強度を試験せしに、其結果下の如し。

(甲)供試體を水中に浸しおきたるもの		
破壊抗壓強度 (一平方「センチ」につき「キログラム」)		
	三 週	四 週
配 合 1:1.5:1.5	175	175
	185	185
平 均	180	180

(乙)供試體を濕布にて覆ひおきたるもの		
破壊抗壓強度 (一平方「センチ」につき「キログラム」)		
	三 週	四 週
配 合 1:1.5:1.5	170	187
	179	200
	183	201
	187	203
	196.5	—
平 均	183.1	200.25

備考「セメント」は愛知「セメント」製造會社製品なり。

上の表によりて之れを見るに、四週を経たるもの平均破壊抗壓強度は、1平方「センチ」につき180kg、にして之れを吋及び封度に換算するときは、1平方吋につき2520封度となり、泰西諸國に於て1:2:4の配合を有する混凝土の強度と殆ど同等の強度を有するが如し。

又膠泥及び混凝土の如きは、其抗壓強度を試験するは甚だ困難なるを以て、比較的容易なる抗張強度の試験をなし之れより其抗壓強度を算出して其概數を知るとを得べし。而して從來の實驗の結果によれば、其抗壓強度は抗張強度の十倍前後を普通とす。然れども先年農商務省に於て本邦製「セメント」を用ゐたる膠泥につき試験したる結果によるときは其割合は遙に少く約七倍なり、即ち下の表に示すか如し。

抗壓強度と抗張強度との比較 (配合1:3)					
セメント名稱	一 週	四 週	八 週	十二週	廿六週
淺野セメント	6.82	6.46	7.32	6.97	6.18
鈴木 „	6.74	6.76	7.73	7.98	6.05
日本 „	6.43	6.75	6.55	7.00	6.77
北海道 „	8.30	11.52	7.45	6.81	7.27
九州 „	6.28	4.76	6.26	5.66	4.15

佐賀	5.53	6.77	6.68	5.96	6.60
小野田	7.26	7.66	8.68	8.78	8.64
大坂	7.52	6.86	5.95	6.62	7.07
木津川	8.71	8.62	7.16	7.09	7.94
中央	6.13	7.28	6.35	6.00	3.84
三河	7.16	7.28	7.14	6.47	7.22
愛知	5.39	6.87	6.37	6.89	7.96
三重	6.99	4.94	6.44	6.47	4.41
平均	6.85	7.08	6.89	6.84	6.47
農商務省調査					

而して同しく農商務省の調査にかゝる膠泥の抗張強度は下の表に示すか如し。

セメント名	膠泥破壊抗張強度(配合1:3) 一平方「センチ」につき「キログラム」				
	一週	四週	八週	十三週	廿六週
淺野セメント	13.1	20.5	20.0	23.1	24.5
鈴木	14.8	18.3	20.6	18.5	21.4
日本	16.1	20.6	22.5	21.1	22.6
北海道	15.6	17.3	25.4	31.8	27.9
九州	10.6	18.1	17.9	20.5	24.3
佐賀	15.6	20.1	22.0	25.0	24.9

小野田	13.5	17.3	20.8	21.5	22.5
大坂	10.5	16.5	18.5	20.0	20.0
木津川	12.4	17.4	18.4	22.1	21.8
中央	14.2	18.3	18.9	19.9	21.0
三河	15.4	21.8	22.8	25.4	24.1
愛知	15.9	19.3	23.5	24.6	23.3
三重	10.2	16.5	18.1	18.3	23.1
平均	13.7	18.5	20.7	22.4	23.2
農商務省調査					

即ち四週を経たるものは、平均 18.5「キログラム」にして、時及封度に換算すれば一平方時につき259封度なり。

又明治三十六年より三十八年に亘り、本邦製「セメント」の三種につき京都市役所土木課に於て其抗張強度を調査せり。其平均成績を擧ぐれば下の如し。

	膠泥破壊抗張強度(配合1:3) 一平方時につき封度								
	愛知セメント			小野田セメント			佐賀セメント		
	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
一週	157	300	220	204	263	241	143	204	176
四週	270	377	328	269	381	319	238	295	259

(備考) 供試體は製造後二十四時間濕布にて覆ひ置き、然る後水中に浸し置きたるものにして、強度の平均

は總口數ノ試験に於ける平均數なり。
口數は愛知セメント百二口、小野田セメント四十五口、佐賀セメント六口にして、一口は百權なり。

膠泥破壊抗張強度 (配合1:2) 一平方吋につき封度			
愛知セメント			
	最小	最大	平均
一週	183	363	260
四週	251	402	360

(備考) 此試験は八十七個の供試體を試験して得たる成績なり。

又上の試験と同じく、愛知「セメント」を用ひ1:2:4の配合を有する混凝土につき普通膠泥の抗張強度を試験するが如く供試體をつくり、之れを切斷したるに其成績下の如し。

Proof Floor

配合	材料口數	Tensile St. #/sq"
1:2:6	50	178
"	50	160
"	84 High. Mass	170
1:2:4		
"		
"		
"		

(備考) 供試體をつくるに用ゐし砂は近江小松産にして其大き二厘以上五厘以下のもの。

混凝土破壊抗張強度 (配合 1:2:4) 一平方吋ニツキ封度			
愛知セメント			
	最小	最大	平均
一週	21	163	117
四週	51	276	194

礎は鴨川産にして一分以上四分以下。
一週を経たる供試體八十四個中十六個は荷重を加ふるや直ちに切斷せり、又四週を経たるものは八十四個中八個は同様の結果を示せり、而して上の表の數は是等の不合格品を除き他のものにつき試験して得たるものなり。

是等の各試験成績より考ふるに、今其抗壓強度は其抗張強度の七倍なりとなし抗張強度より其抗壓強度を算するときは下の如し。

配合	一週	四週	
1:3	1343	1813	農商務省調査結果より算出す。
1:2	1820	2520	京都市役所調査結果より算出す。
1:2:4	819	1358	同上、

而して膠泥にありては、實際工事をなすに當り、試験に供試體をつくるか如き注意を拂ふは到底望むべからず。故に實際採るべき破壊強度は上の表に示すよりも幾分少くせざるべからず。又上の表の混凝土の抗張強度を試験したる成績の如きは、素より不完全なるを免れず、特に其供試體の斷面積に比し、用ゐたる礎は大なりしを以て實際に於ては其強度は上の表に示す數よりも幾分大なるべしと信ずるなり。故に今假りに膠泥にありては上の數より二割を減じ混凝土にありては上の數に其二割を加ふるときは下の如し。

配合	一週	四週
1:3	1074	1450
1:2	1456	2016
1:2:4	983	1630

以上述べたところによりて考ふるに、本邦製「セメント」を用ゐたるものの強度は之れを泰西の「セメント」を用ゐたるものに比するとき、一段低弱にして1:2の配合を有する膠泥、及び1:2:4の配合を有する混凝土を充分注意して調製したるものにおいて、其破壊抗壓強度は下の如しとして大差なからんと信ずるものなり。

一週 1000 乃至 1400 平均 1200 封度 (一平方呎ニツキ)

四週 1600 乃至 2000 平均 1800 封度 (同上)

(備考) 或配合を有する膠泥と其れと同様の膠泥を有する混凝土の強度は、若し隙の空間が充分充たされるときは殆んど同等なるべし。

第十一節 混凝土の安全抗壓強度。

實際の工事にありては、其構造物に受けしむる應力度は其破壊強度より遙に小ならざるべからず。而して通常之れに許すべき最大限度即ち安全強度は、其破壊強度の五分の一乃至十分の一とす。

今1:2:4の配合を有する混凝土の破壊抗壓強度を一平方呎につき1800封度となすときは、其安全強度は一平

方時につき360乃至180封度なるべし。

米國に於て鐵筋混凝土工の設計に用ゆる混凝土の安全抗壓強度は下に示すか如し。

配 合	1:2の膠泥を用ゐたる混凝土		1:3の膠泥を用ゐたる混凝土	
	一ヶ月	六ヶ月	一ヶ月	六ヶ月
製作より経過日數				
安 全 率	6	5	6	5
安全抗壓強度	400	500	340	400
			500	600

尚ほ安全強度を定むるには、其構造物の種類、其受くる荷重の性質如何により斟酌せざるべからざるは他の材料に於けると毫も異なるとなし。

第十二節 混凝土の張力に対する強度。

混凝土の張力に対する強度は、既に第十節中に述べたるか如く、之れを抗壓強度に比するとき、遙かに少くして、本邦製「セメント」を用ゐる1:2:4の配合を有するものが四週を経たる後有する破壊強度は、平均一平方呎につき260封度内外に過ぎず。而め其安全強度は此の六分の一を超過せしむるとを得ず。

第十三節 混凝土の剪力に対する強度。

剪力に対する混凝土の強度は未だ充分明ならず。此點に關し有益なる試験を行ひしは「バウシングル」(Bauschinger)、及び「フェレー」(Ferret)の二氏とす。「フェレー」氏

の説くところによれば、混凝土の剪力に對する強度は其抗壓強度に正比例し通常其一割六分乃至二割なりとす。

本邦製「セメント」を用ゐたるものの抗剪強度に關しては、未だ試験の結果を知ると能はざるを以て暫らく「フェレー」氏の説に従ひ之れを算出せんは、今 1:2:4 の配合を有する混凝土の破壊抗壓強度を一平方吋につき 1800 封度となすときは、其破壊抗剪強度は一平方吋につき 280 乃至 360 封度となるべし。而して安全率を六となすときは、其安全抗剪強度は一平方吋につき 48 乃至 60 封度なり。

第十四節 混凝土と鐵との附着強度。

混凝土と鐵との附着強度に至りては一層不明に屬し未だ精確なる數を知ると能はず。「パウシנגエル」、「フェレー」、「コアニー」及び「ド、テデスコ」氏の如きは皆な之れが強度を試験せりと雖も、其結果は相一致せざる點あり。即ち「パウシングエル」氏及び「テデスコ」氏は、其附着力は其附着面積に正比例すと云ひ、「フェレー」氏の説によれば、其附着力は必ずしも面積に正比例せず、特に大なる鐵板と膠泥とを附着せしむる場合の如きは全然正比例をなさず。又同氏の實驗結果によれば、附着強度は鐵の表面の滑かなると粗なるとによりて差あり。又「セメント」の粒の細きものは其附着強度を増し、膠泥の場合にありては、

或程度迄は砂粒の大なるをよしとし、「セメント」の割合を多くなすときは亦或る程度迄附着強度を増し、混凝土の場合にありては其強度は膠泥に比し遙かに少く、「セメント」の割合を増すに隨ひて其附着力も増進するものなりと云へり。又同氏は水量を多くするときは附着力を増すに大なる效ありと云へり。而して「コアニー」及び「ド、テデスコ」氏の説くところは尤も之れと趣を異にし、附着強度は鐵の表面の滑なると否とに關係せずと論ぜり。

此の如く是等の學者の試験結果は相一致せざるものありと雖も、要するに附着強度は抗剪強度より大にして、實際は此等の試験結果の示す數よりは稍大なるは眞に近きものの如く、普通の混凝土又は膠泥に對しては、「パウシングエル」氏によるときは其破壊強度は一平方吋につき 570 乃至 640 封度にして、「ハット」氏によるときは 636 乃至 756 封度なり。即ち通常 600 封度を標準とす。

本邦製「セメント」を用ゐたるものは果して幾何の強度を有するやは、未だ毫も之れを知ること能はず。然れども外國製「セメント」を用ゐたるものより少しく弱きが如し。故に假りに約二割を減じ一平方吋につき 500 封度として大差なからんと信ず。而して其安全強度は其六分の一乃至十分の一を普通とするが故、一平方吋につき 50 乃至 80 封度なり。

第十五節 混凝土の壓力に對する彈性、

及び彈性係數。

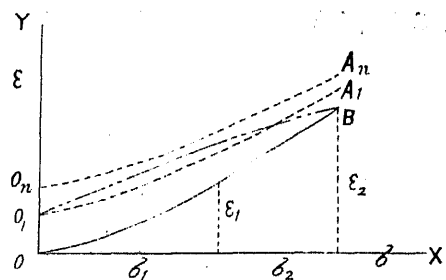
凡て物體に荷重を加へ應力を生ぜしむるときは、之れに相當する應力變形を生じ、若し其荷重を除去するときは其物體も再び原形に復すべし。此の性質を稱して物體の彈性と云ふ。

混凝土も素より此彈性を有し、之れに壓力を加ふるときは夫れに相當するだけ短縮し、其壓力を除去すれば直に原形に復すと雖も、其初期に於ては全然原形に復せず多少の永久變形を生ずるを免れず。

今第三十三圖に於て ox, oy なる軸をとり、 ox に應力度を表はし、 oy に應力變形を表はし、先づ漸次荷重を加へ其應力度をして δ に至

第三十三圖

らしむるとき、應力變形 ϵ を線にて表はすと ϵ は OA の如し。而して其荷重を除去するも全然原形には復せず OO_1 なる永久變形を生ずべ



し。又更に前と同様に荷重を加ふるときは O_1A_1 の如き線を得べく、荷重を除去するも O_1 には復歸せず更に幾分なる永久變形を生ずべし。斯の如く數回繰かへすとき

は遂に永久變形も起らず、應力度と應力變形との關係は O_nA_n の如き線にて示すことを得るに至るべし。斯の如く混凝土は彈性を有すと雖も應力度 σ を何程大にしても之れを除去するときは必ず原形に復すと云ふにはあらず。夫れには凡そ一定の限度ありて、若し σ が其限度以上に及ぶときは最早彈性を失ひ、應力を除去するも決して原形に復するの傾向をも呈せざるべし。此限度を稱して彈性極限と云ふ。實驗の結果によれば此極限は破壊強度の約三分の一のところなり。

尙ほ此彈性極限以内に於ける應力度と應力變形との關係を見るに、第三十三圖に於ける O_nA_n なる線は直線にあらず、換言すれば應力變形は應力度に正比例をなさず、即ち「フック」氏 (Hook) の法則によらずして應力度の大なる程割合に大なる應力變形をなすものなり。

今

P = 荷重

l = 物體の長さ

A = 其斷面積

σ = 應力度

ϵ = 應力變形

λ = 變形

となすときは

$$\sigma = \frac{P}{A}, \quad \epsilon = \frac{\lambda}{l}$$

にして「パツハ」氏の研究したるところによれば、混凝土にありては此の σ と ϵ の関係は下の如し。

$$\epsilon = \frac{\sigma^n}{E_1}$$

但し n と E_1 とは実験より得る係数なり
上の式を書換ふれば

$$\epsilon = \frac{\sigma^n}{E_1} = \frac{\sigma^n}{E_1} \times \frac{\sigma^{n-1}}{\sigma^{n-1}} = \frac{\sigma}{\frac{E_1}{\sigma^{n-1}}}$$

故に

$$\frac{\sigma}{\epsilon} = E_1 \frac{1}{\sigma^{n-1}} = E_\sigma \dots \dots \dots (1)$$

σ と ϵ の比は所謂弾性係数にして、此式の示すが如く定数にあらず σ と共に變化するものなり。

同じく「パツハ」氏の實驗したるところによるときは E_1 及び n の値は下の表に示すが如し。

も製造後三四ヶ月を経たる	配合	E_1 平均コンクリート	n
	1:1.5	356000	1.11
	1:3	315000	1.15
	1:4.5	230000	1.17
	1:2.5:5	298000	1.145
	1:13:6	280000	1.161

上の(1)の式に示すが如く弾性係数は σ の大なる程小

なり。普通工事に混凝土を使用するときは之れに受けしむる應力度は其安全強度を超過せしむること稀なり。故に其安全應力度前後に於ける σ のときの弾性係数は、普通の配合を有する混凝土にありては一平方時につき2800,000 封度前後なり。

米國に於て千八百九十九年に試験せしところによれば、 σ が一平方時につき 100 乃至 600 封度なるときの弾性係数は下の如し。

配合	セメント名	七 日	一ヶ月	三ヶ月	六ヶ月
1:2:4	アトラス	2788000	3125000	4167000	3125000
	アルファ	-----	2083000	4167000	3125000
	セルマニア	2500000	-----	3571000	4167000
	アルゼン	2500000	2778000	2778000	4167000
	平 均	2592000	2662000	3670000	3646000
1:3:6	アトラス	1667000	3125000	2778000	3571000
	アルファ	-----	2083000	3571000	4167000
	セルマニア	2273000	2273000	2778000	3125000
	アルゼン	1667000	2273000	2778000	3571000
	平 均	1867000	2438000	2976000	3608000

(一平方時につき封度)

本邦製「セメント」を用ゐたる混凝土の弾性に關する調査は未だ明ならず。然れども其弾性係數は、普通の配合のものにありては外國製「セメント」を用ゐたるものよりも少かるべく、今假りに約二割を減じ一平方吋につき2400000 封度内外として大差なからんと信ず。然れども其詳細の事に至りては他日精細なる調査結果を得るをまたざるべからず。

混凝土の張力に對する弾性は、「パツハ」氏の説によれば殆んど壓力を受くる場合と同様なるが如し。然れども其詳細は未だ明ならず。

第十六節 鐵の強度、其弾性、及弾性係數。

鐵(鍊鐵及鋼鐵を總稱す)は張力、壓力、及び剪力に對し何れも大なる強度を有するものにして、其平均は下の表に示すが如し。

(一平方吋ニツキ封度)	鍊 鐵	鋼鐵(中質)
破壊抗張強度	40000—60000	55000—70000
同安全強度	8000—15000	10000—18000
破壊抗壓強度	40000	40000—50000
同安全強度	8000—10000	8000—12000
破壊抗剪強度	40000	50000
同安全強度	8000	10000

鐵の弾性は混凝土に比し遙かに完全にして、且つ弾性極限以内においては應力變形は應力度に正比例す。故に其範圍内にありては弾性係數は定數にして下の如し。

鍊鐵 28000000 一平方吋ニツキ封度
 鋼鐵(中質) 29000000—30000000 ,,

今此弾性係數を混凝土の弾性係數に比較するに、若し混凝土の壓力に對する弾性係數を一平方吋につき2000000乃至3000000 封度となすときは、鐵の弾性係數の凡そ十五分の一乃至十分の一なり。歐米に於ては此比を十二内外にとるを普通とす。

E = 混凝土の弾性係數

E_i = 鐵の弾性係數

$$\frac{E_i}{E} = m = 10 \text{ 乃至 } 15 \quad \text{平均 } 12$$

本邦製「セメント」を用ゐたる混凝土なるときは、此弾性係數の比 m は 12 乃至 15 として大差なからんと信ずれども、尙ほ他日の研究をまち其正確なる數を知るを要す。

第五章 鐵筋混凝土に於ける應力
 算計に關する原則、及び假定。

第十七節 概説

凡そ構造物の目的たるや、其有する強度又は重量等に