


耐震结构概论

佐野利器 著
谷口忠

建筑工程出版社

耐震結構概論

高履泰譯

建筑工程出版社出版

• 1957 •

內容提要 本書是日本耐震結構專家佐野利器博士和谷口忠博士根據歷年對於震災調查研究的結果提出的耐震結構方法。書中概括地敘述了耐震結構學的历史和研究情況，并闡述了耐震結構學中主要組成部分的震力問題，對於木結構、磚石結構、鋼筋混凝土結構、鋼結構以及鋼骨混凝土結構一一提出了具體的耐震方法，特別是對於剛架建築物在耐震方面的各項學說進行了詳盡的分析。

本書可供建築技術研究人員、結構工程師、建築師、施工技術人員參考。

原本說明

書 名 耐 震 構 造 汎 論
著 者 佐 野 利 器、谷 口 忠
出 版 者 岩 波 書 店
出版地點 東 京——1942
及 年 份

耐 震 結 構 概 論

高 履 泰 譯

*

建築工程出版社出版（北京市阜成門外南禮士路）
（北京市書刊出版業營業許可證出字第052號）

建築工程出版社印刷廠印刷，新華書店發行

書號704 90千字 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張 4 $\frac{5}{8}$

1957年12月第1版 1957年12月第1次印刷

印數：1—1,600 冊 定價（11）0.95 元

目 录

序 言	6
第一章 耐震学研究概論	7
第 一 节 地震学的研究	7
第 二 节 日本震災史概要	10
第 三 节 建築結構学的研究	14
第 四 节 濃尾地震的影响	15
第 五 节 东京地震的影响	16
第 六 节 鋼結構的傳入	18
第 七 节 鋼筋混凝土結構的傳入	18
第 八 节 旧金山大地震的影响	19
第 九 节 各地震災的影响	20
第 十 节 建築物的周期觀測	21
第 十 一 节 五重塔的耐震性	22
第 十 二 节 塔狀結構物的振動理論	25
第 十 三 节 剛架理論的发展	26
第 十 四 节 美国式施工方法的流行	27
第 十 五 节 浦賀水道地震的影响	28
第 十 六 节 关东大地震及其以后的研究	28
第 十 七 节 免震結構的研究	31
第二章 震力論	33
第 十 八 节 地震的性質	33
第 十 九 节 震力和加速度	34
第 二 十 节 地震系数	36
第 二 十 一 节 地震等級	38
第 二 十 二 节 地質、地形和地震系数	39
第 二 十 三 节 土地的固有振動和地震系数	41

第二十四节	剛体的傾倒作用·····	42
第二十五节	剛体的滑动作用·····	43
第二十六节	物体的廻轉作用·····	45
第二十七节	短柱的压屈作用·····	45
第二十八节	震力对于彈性結構物的作用·····	47
第二十九节	圓柱体的自由振动·····	48
第三十节	荷載的圓柱体的振动周期·····	49
第三十一节	烟囪的振动周期·····	49
第三十二节	剛架的振动周期·····	51
第三十三节	建筑物的振动周期·····	52
第三十四节	作用在圓柱体上的震力·····	53
第三十五节	作用在剛架建筑物上的震力·····	54
第三章	結構論·····	56
木結構	·····	56
第三十六节	木結構房屋的震害特性·····	56
第三十七节	木結構房屋耐震基本方案·····	59
第三十八节	建築基地的選擇·····	61
第三十九节	木地梁和基礎的連結·····	63
第四十节	平面布置·····	65
第四十一节	樓板結構·····	66
第四十二节	柱、梁結合部分的結構·····	67
第四十三节	垂直隅撐的使用方法·····	68
第四十四节	对角支撐的使用方法·····	69
第四十五节	屋架結構·····	71
第四十六节	屋頂复盖材料的選擇·····	72
第四十七节	在防火方面的考虑·····	73
第四十八节	木結構房屋的保存和修繕·····	74
砖石結構	·····	75
第四十九节	磚結構的耐震价值·····	75

第五十节	磚石結構的震害特征	76
第五十一节	对于磚牆的弯曲作用	79
第五十二节	对于磚牆的剪力作用	80
第五十三节	磚砌体的砌合强度	80
第五十四节	磚結構的耐震方案	81
剛架建築物		82
第五十五节	剛架建築物的震害特性和破坏位置的研究	82
第五十六节	剛架建築物在耐震上的剛柔結構說	92
第五十七节	剛架建築物的耐震結構原則	94
第五十八节	剛架由于水平推力的变位和应力的計算法	94
第五十九节	多層多跨剛架的应力近似計算法	101
第六十节	耐震牆及其布置方法	107
第六十一节	耐震牆結構	108
第六十二节	有牆剛架的作用和水平推力的分布比率	109
第六十三节	內藤博士的水平推力分布系数	111
第六十四节	著者的牆壁分布比率的計算法	118
第六十五节	內藤博士方法和著者方法的比較	129
鋼筋混凝土結構		131
第六十六节	混凝土强度的設計	132
第六十七节	混凝土在施工上的注意	135
第六十八节	鋼筋的配置和綁紮	136
第六十九节	鋼筋混凝土結構的耐震要点	137
鋼結構		139
第七十节	幕牆式鋼結構	139
第七十一节	耐火价值	141
第七十二节	柱、梁結合部分的結構	143
第七十三节	焊接的利用	143
鋼骨混凝土結構		146
第七十四节	鋼骨混凝土結構	146

序 言

編写这本小冊子有两种目的：其一就是要闡明耐震結構学的概念，其二就是要向一般技術人員或想建造房屋的人們介紹一下耐震結構方法的知識。这乃是希望至少使地震国家的日本的建筑免受一些地震的災害。

第一章全面地敘述了耐震結構学的历史和研究的现有情况。第二章論述了耐震結構学的基本內容震力論。这本来是耐震結構学中最重要的一部分，但是根据本書的目的，已經把它的繁雜的理論略去，仅仅简单地敘明了它的輪廓和綱要。第三章結構論是对一般想要建造房屋的人們和从事于建筑技术的人們提供出耐震結構知識的主要部分。其中木結構一节可适合一般人們的参考，至于磚石結構、鋼筋混凝土結構、鋼結構等等則相信可供建筑人員很好的参考。

耐震結構学在日本特別进步，从这一国家的地質来看，是理所当然的事情。毫无疑問，今后对它更要进行研究，但是为了減輕災害，日本人民中的任何一个人 都应该对它具有相当的知識。如果这本小冊子在这方面能够起到一些作用，那么就使著者如願以償了。

著 者 識

第一章 耐震学研究概論

第一节 地震学的研究

当19世紀中期即距今約有 75 年前日本的天保安政时代，有一个法国人叫佩列，曾經广泛地蒐集有关各国地震的記錄，調查地震与月的关系以及地震每年間的分布，据說这就是地震的有組織的研究之始。在佩列之后，英国人馬列特并不满足于仅仅調查旧有記錄，更进一步測定由火药爆发引起的波动通过种种地質的速度，其后他又在 1857 年意大利拿波里大地震时亲身到现场去觀測，于是开辟了研究烈震地带的震动方向、震动强度等地震性質的道路。繼馬列特之后，意大利学者們虽然制做过简单的微动仪和感震器进行了一些地震的觀測，但是并没有表现出特殊的发展。然而近年以来，地震学在觀測、試驗、应用各方面能有显著的成就实应归功于日本地震学会和震災予防調查会。日本地震学会是在1880年由菊池、关谷、大森等博士发起并与米隆、牛英、葛雷博士等内外学者合作之下創立起来的，他們从事于地震和火山的研究，发表了許多記錄和論文，而且根据正确的理論发明了新的地震仪，进行了地震觀測，調查了地震性状。于是地震学就很迅速地发展起来，因此日本地震学会就在欧美学者之間普遍地聞名了。日本地震学会在1892年解散，以后又用其他名称出现。在此以前，中央气象台和地方觀測所却装設了地震仪，进行了地震觀測；在中央气象台还从全国收集了地震报告，进行了研究；

在东京大学更設立了地震学教室；日本地震研究的組織于是就建立起来了。

1892年6月根据政府指示在文部省下創立了震災予防調查会(Japanese Earthquake Investigation Committee)以代替日本地震学会。这是在1891年濃尾大地震以后由上院議員菊池大麓博士倡議并根据該院建議設立起来的，其目的不仅要从理学的一方面而且要从多方面进行研究，因此任命了理学方面的小藤文次郎、田中館愛橘、中村精男、长岡半太郎、大森房吉等理学博士，工学方面的眞野文二、古市公威、石黑五十二、井口在屋、广井勇等工学博士，建筑方面的辰野金吾、曾禰达藏、中村达次郎等工学博士为委員来着手进行各种研究工作，以后各时代的主要理工学者都被选拔繼續參加研究工作。而且在1923年关东大震災以后地震研究所設立以前，还刊出了日文100册、欧文40册的記錄和报告。其中有大小地震調查报告，耐震結構、材料强度、地震和气象的关系、海嘯、火山的研究，地質地形的研究等有益的論文。这些就成为世界研究地震学的主要文献，欧美学者就是根据这些資料来了解地震的性状和进行研究的。这些論文的絕大部分可以說是由大森博士所撰写的，因此可以說大森博士对于世界地震学的貢獻最大。如上所述，有关地震的研究在日本最为发达，可是近年以来在外国也随着物理学的进步从純理学的观点进行了这一項的研究。其中最有名的是英国振动学者雷理(Rayleigh)；他在1885年当时所提出的学說是：地震就是地壳的彈性波，除了縱波和橫波以外，还存在着在地球表面傳播的所謂地面波，这种波称做雷理波(Rayleigh Wave)。

1895年米隆测定了初期微动的繼續時間，因而明确了能够确定觀測地点到震源的距离。又在德国，威亥尔特根据政

府的指示調查了意大利的地震，並且在哥廷根地球物理研究所設置了應用倒擺的新式地震儀，明確地觀測出縱波、橫波和地面波這三種波來。又在俄國，加里欽公布了由於在某一處進行觀測，測定出“震中”地點的方向和距離，便立可推知“震中”地點的方法，他還設計了應用蔡爾納擺的新式地震儀。

把以上各種研究分類看來，日本的地震學大多是根據大地震的經驗從統計學方面發展起來的；與此相反，在外國卻把它作為地球物理的一項分科，是從純理學方面發展起來的。但是日本由於1923年9月1日的大地震受到從來沒有的震災，自然就促使學者們重新振奮起來。這樣，為了預知地震而於事先防范震災，就擺脫了過去以調查為主的所謂統計地震學的范围，而決定必須進行地球內部狀態以及地震發生原因、機構等純物理學方面的研究，並且解散了震災預防調查會，把它的業務分為兩部分，重新設立了作為諮詢機構的震災預防評議會（在文部省內）和作為研究機構的地震研究所（在東京大學內）。於是物理學專家長岡半太郎博士、振動學專家末廣恭二博士等人都參加了這一部門的研究工作。在此以前，大森博士擔任日本委員前往出席1923年在澳大利亞召開的太平洋學術會議，這時日本恰好遭遇了大地震，因此急速回國，途中由於過度痛心便在船中生病，回國後竟在震災混亂之中逝世，這實在是值得痛惜的。

在此以後，地震研究所積極地進行了它的事業，地震的研究實質上已經進入了第二階段並且表現出很大的進步。研究的結果截至1933年底止已經刊載在44冊的地震研究所匯報中。雖然這些研究在這裡不能一一列舉，可是如果介紹它的綱要就有：長岡博士關於地球成因與地震的關係的研究，寺田博士、坪井忠二博士、宮部理學士、武者理學士等人關於地球物

理学的地震的研究,石本博士、高桥理学士等人的地震应用新型地震仪的研究,妹泽博士、金井理学士等人的彈性波理論的研究,今村博士、松泽博士、那須理学士、保田先生等人的地震观测統計的研究,坪井誠一博士、多田理学士、津屋理学士等人的地質学、岩石学中的地殼的研究,藤原博士关于地的渦动剪切的研究,物部博士对于土木工程学方面的研究,内田博士、斋田理学士等关于建筑学方面的研究,关东、但馬、丹波、北伊豆、三陆地震的調查,以及陆地測量部、海軍水陆部对于地形变动的大规模詳細測量;这些成果都是国际水平的有数的研究。这样,日本地震研究所便指导了整个国际的地震研究。

第二节 日本震災史概要

过去两千年以来日本始終是木結構建筑的国家。有人說明这一事实認為日本是一个地震国家,所以为了耐震就发展木結構,实际情况未必能說就是这样的。日本国内木結構发展起来的主要原因还是国内树木丰富的緣故。在附近地方有了木材,因而它就会发展起来,这是当然的道理。其次的原因就是日本人民爱好樸素,願意与大自然相协调,而且在日本国内沒有激烈的寒暑之差,气候是适合于木結構的。

日本自从有史以来就受到了地震的襲击并且一直与之进行了斗争。因此地震的記載是与日本历史一起开始和一起繁荣起来的。在日本史書中最初記載的地震記錄:允恭天皇5年河内国有大地震,皇居因而破坏,因此截至19世紀60年代为止可有5千数百次的地震記錄,其中有記載的大地震約有150次。在这些大地震中举其受害情况有明确記載的有:距今3百余年前的1596年9月1日九州丰后湾瓜生島的地震,該島直径約2日里半,由于地震全部陷沒,而且发生海嘯,死亡达7

百人；还有此后仅隔3日的京都伏见地方的地震，因而該地方“土地开裂，地水湧出，高楼大厦以及民居完全塌倒，死亡两千人，洛阳大佛殿崩毀，佛像破坏”。从此以后直到最近三陆的海嘯，其間发生过显著災害的地震，根据今村博士的調查如表1。其中与1855年江戸大地震程度相同或更激烈的地震竟有36次，房屋塌倒燃烧計265,500幢，死亡計99,400人。这样，自古以来虽然遭受过許多次災害，可是对于木結構房屋过去还

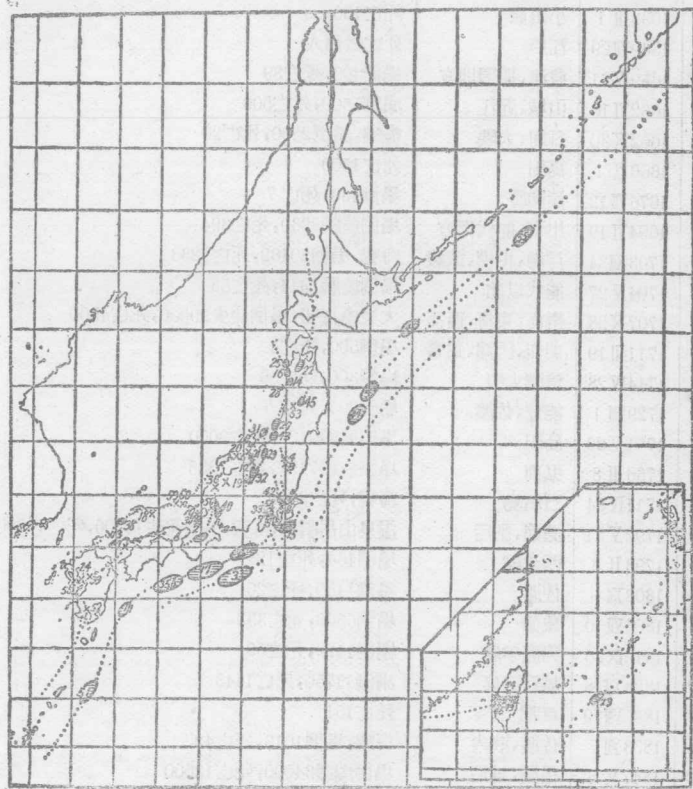


图1 日本地震帶图 (根据今村博士的調查)

日本大地震表(1596年以后)

表 1

編號	公 元	地 名	受 害 摘 要
1	1596Ⅸ 1	大分	瓜生島陥没,海嘯,死亡700
2	1596Ⅸ 4	伏見	死亡2000
3	1605Ⅱ 3	東海、南海、西海	大規模海嘯,死亡5000
4	1611Ⅸ 27	會津	猪苗代地方陥没,死亡3700
5	1611Ⅺ 2	蝦夷、三陸	大規模海嘯,死亡1783
6	1614Ⅺ 26	越后、高田	海嘯,死亡很多
7	1633Ⅲ 1	小田原	死亡150
8	1649Ⅶ 29	江戸	死亡數百人
9	1659Ⅳ 21	會津、那須地方	塌倒409,死亡39
10	1662Ⅵ 16	山城、近江	塌倒5500,死亡500
11	1662Ⅹ 30	日向、大隅	海嘯,塌倒2500,死亡20
12	1666Ⅱ 1	高田	死亡1500
13	1676Ⅷ 12	津和野	塌倒133,死亡7
14	1694Ⅵ 19	出羽、能代南方	塌倒燒燬2760,死亡394
15	1703Ⅺ 31	房總、相模、武藏	海嘯,塌倒20162,死亡5233
16	1704Ⅴ 27	能代以北	塌倒燒燬1314,死亡58
17	1707Ⅹ 28	南海、東海、西海	大規模海嘯,塌倒流失29000,死亡4900
18	1711Ⅲ 19	美作、因幡、伯耆	塌倒500,死亡4
19	1714Ⅳ 28	信濃大町	塌倒300,死亡56
20	1729Ⅷ 1	能登、佐渡	塌倒791,死亡5
21	1751Ⅴ 20	高田	塌倒燒燬9100,死亡2000
22	1766Ⅲ 8	弘前	塌倒燒燬7192,死亡1335
23	1711Ⅳ 24	石垣島	海嘯,死亡9400
24	1792Ⅴ 21	肥前、肥后	温泉山岳噴火,海嘯,塌倒流失12000,死亡15200
25	1793Ⅱ 8	西津輕	塌倒164,死亡12
26	1802Ⅺ 9	佐渡	塌倒1150,死亡20
27	1804Ⅶ 10	象瀧	塌倒5500,死亡333
28	1810Ⅸ 25	男鹿半島	塌倒1129,死亡59
29	1828Ⅺ 18	越后三條	塌倒11750,死亡1443
30	1830Ⅷ 19	京都	死亡151
31	1833Ⅺ 7	佐渡、莊内	海嘯,塌倒1013,死亡42
32	1847Ⅴ 8	信濃、越后	塌倒燒燬34000,死亡12000
33	1853Ⅲ 11	小田原	塌倒3300,死亡79

編號	公 元	地 名	受 害 摘 要
34	1854Ⅶ 9	伊賀、伊勢、大和	塌倒5000,死亡1352
35	1854Ⅸ ²³ ₂₄	東海、南海	大規模海嘯,塌倒流失60000,死3000
36	1855Ⅺ11	江戶	塌倒燒燬50000
37	1858Ⅳ 9	飛騨北部	塌倒709,死亡203
38	1872Ⅲ14	石見、濱田	塌倒5000,死亡600
39	1889Ⅶ28	熊本	塌倒239,死亡20
40	1891Ⅹ28	濃尾	塌倒燒燬142177,死亡7273
41	1894Ⅲ22	根室	海嘯,塌倒11
42	1894Ⅵ20	東京	塌倒90,死亡24
43	1894Ⅹ22	莊內	塌倒燒燬6006,死亡726
44	1896Ⅵ15	三陸	大規模塌倒流失106170,死亡27122
45	1896Ⅷ31	羽后仙北	塌倒燒燬5911,死亡206
46	1905Ⅵ 2	安藝	塌倒56,死亡11
47	1906Ⅷ14	近江姊川附近	塌倒976,死亡41
48	1911Ⅵ15	喜界島	塌倒422,死亡12
49	1914Ⅰ12	櫻島	塌倒120,死亡20(除了噴火損害以外)
50	1914Ⅲ15	羽后仙北	塌倒640,死亡94
51	1917Ⅰ 5	埔里社	塌倒130,死亡50
52	1918Ⅹ 8	得撫島	海嘯,死亡24
53	1922Ⅹ 8	肥前島原	塌倒376,死亡27
54	1923Ⅹ 1	關東	塌倒燒燬,流失576262,死亡99331
55	1924Ⅰ15	相模中部	塌倒1273,死亡14
56	1925Ⅴ23	但馬北部	塌倒燒燬3300,死亡395
57	1927Ⅲ 7	丹后西北部	塌倒燒燬15413,死亡3017
58	1930Ⅺ26	北伊豆	塌倒燒燬7750,死亡261
59	1933Ⅲ 3	三陸	塌倒燒失9415,死亡820

沒有作出特別耐震方案來是很難理解的。但是在德川末期曾經有過這樣的方案,就是建造一間堅固的房屋,稱做“地震間”作為地震時逃避之所。又在1855年地震以後,江戶的一個普通醫師撰寫過一部耐震結構的著作,稱做“防火策圖解”,其中曾有提倡採用對角支撐的方案。但在此以前,有關耐震結構

的文献实物根本上还未曾发现过。因此 翻閱安政見聞誌(一本記載 1855 年江戶地震的書籍——譯者注)考察它的房屋倒坏情况,竟然和破坏积木細工一样。特别是日本的木結構在其結合方面要比中国、朝鮮的坚固得多,恐怕也是由于地震的影响吧。虽然如此,这还不是能够称做耐震結構的手法。由此看来,19世紀 60 年代以前日本在耐震方面所进行的研究可以說是微不足道的。

第三节 建筑結構学的研究

自从19世紀60年代以来日本就广泛地从世界吸取知識,所有文物制度都傳来了外国的因素,在工学方面也在 1871 年成立了工学寮——工科大学的前身,又在 1872 年由英国人安德遜担任营造师在虎門(东京街名——譯者注)的旧延岡藩邸內建造校舍,1873 年竣工,就在这里創設了营造学科。最初由英国人担任教师,完全講授了英国式的木結構和砖結構。1877 年工学寮改称为工部大学,为了培养日本人的教师,便选拔出辰野博士前往外国留学,回国以后,他与英国人康德尔和曾禰与中村两博士共同在大学中担任教授,由此建筑学的学术研究机构就产生了。这时恰好在大学中創設了地震学教室,因而开始了有关地震的研究。

論到当时学校、机关、銀行等公共建筑物的結構类型,應該指出这些結構完全是木結構或砖結構。在木結構中,有在木骨架上釘以木板条从底层到單面进行抹灰并在建筑物的角隅部分鑲貼隅石的,又有在木板牆上全部鑲貼石板的。这些在后来遇到几次地震都被証明对于日本建筑是不相适应的,因此今天終於消灭得几乎絕跡了。当时傳来的結構中有所謂美国式木板牆和英国式木板牆的牆壁鑲釘木板的木結構,多用

于公共建筑物上，由于它在耐震方面并无妨碍，所以今天它还作为一种木结构的形式遗留下来。砖结构当时只用在高级建筑物上，恰恰相当于今天的钢结构和钢筋混凝土结构。但对日本所建造的砖结构的时间加以调查，长崎造船所的建筑物最早(1857年)，其次便是大阪造币局的建筑物(1869年)，东京近卫兵营的建筑物(1871年)，东京银座大街的商店(1872年)等等。砖结构建筑物的出现当然同时就需要砂浆，而需要砂浆便要制造水泥。在日本制造水泥以1871年由工部寮工程师宇野宫三郎在浅野水泥厂原址深川工厂进行的为最早，其次就是1876年计划建造的小野田水泥厂。

当时在民间从事于建造西欧式木结构的技术人员有清水嘉助、林忠恕、高原弘造等人。砖结构似乎当时还没有日本建筑师来承造，而是完全依靠外国人的，其中主要的外国人有鲍恩维尔(Boinville)、戴雅克(Diack)、查培基(Chapergi)、康德尔(Condor)、贝克曼(Böckmann)等人。19世纪60年代以后由他们所建造的建筑物有外务省大楼(1878年)、参谋本部(1880年)、遊就馆(1881年)、上野博物馆(1882年)、鹿鸣馆(1883年)和东京大学文法科教室(1884年)，由1884年到1891年之间建造的建筑物从尼古拉教堂开始还有栖川宫邸、北白川宫邸等等。这些都是砖结构传来不久所建成的建筑物，而且是对于砖结构不利于地震这一点还没有经验的时代的作品，因而对于耐震手法几乎完全没有研究过，所以当1923年关东大地震时便多数发生破坏，再也不能使用而消形歛迹了。

第四节 濃尾地震的影响

砖结构按照这样的趋势直接仿照外国的砖结构形式采用起来，但在1891年10月28日濃尾地方却发生了大地震，当时在

名古屋附近盛行建造的砖结构工厂、砖砌烟囱和铁道桥墩等都遭受了严重损害。这时，无论学者或土木建筑技术人员对于砖砌建筑物的震害都进行了详细调查，才觉悟到在日本照旧采用外国手法进行建筑是非常危险的，因此，当时正在兴建中的司法省、法院、海军省等建筑物立即加以改良，首先废止了过去用的多石灰砂浆做出砖缝的方法而改用了多水泥砂浆，并且还埋放了铁件慎重地进行施工。

这些建筑物的建造时间与前述的砖结构相差只有一两年，当关东大地震时并没有很大损害，依然屹立在霞关大街上，现在还毫无事故地被使用着，这一事实乃是由于受到浓尾地震的影响，以致改进了外国形式，又由于人们的心情对于地震是紧张的缘故。这才是说明施工对于房屋耐震方面何等重要的一个好例。司法省原是德国人贝克曼设计的，曾在柏林在恩迭的指导下经过基哉的修正；河合浩藏从德国回国以后担任主任工程师在1888~1895年间把它建造起来的。

此后的砖结构由于浓尾地震的影响对设计和施工方面都非常注意，因而显著地增加了强度。由辰野博士设计的许多银行、公司、学校，由片山博士设计的与宫内省有关的各项建筑物，由曾禰博士设计的三菱办公楼等建筑物，都是有代表性的纯粹砖结构。特别是第一号到第三号的三菱办公楼竟然打破了过去砖结构房屋木造楼板的成例，开始采用了德尔曼隆公司所制的钢梁，上铺瓦隔铁板，它的上面再浇灌混凝土，铺好石板或瓷砖，所谓耐火结构的楼板。这些就是1891~1896间建筑结构方面的情况。

第五节 东京地震的影响

如前节所述，砖结构以非常的优势普遍地发展起来，虽然