

鉄筋コンクリート造建築の 耐震安全性の歩み



東京工業大学 応用セラミックス研究所

セキュアマテリアル研究センター 教授 林 静 雄

1891年濃尾地震



**三井物産会社横浜支店
1911年竣工**



共同住宅 2004年竣工

建築構造と気候・風土

日本独自の構造設計法

わらの家

木の家

れんがの家

目的

外敵

雨露

環境

厳しい寒さ

温暖

材料

石

森林

組石造

木造

都市の形成

防災：火災（延焼の防止）

大火と建設のサイクル

1872年2月26日 東京大火災

銀座・築地 28万坪が延焼

欧米に追いつくことを目標

**産業・軍事・教育への投資
都市大火の克服が課題**

1872年

銀座れんが街計画 (ウォートルス)

都市の改造：道路整備

都市の不燃化：れんが造

1877年

工部大学校造家学科開設

(ミルン, コンドル)

1877年

銀座れんが街計画
表通り周辺のみで打切り

住民の立退き紛争・れんがの供給の不足

れんが造建築の全国への普及

窯業の技術

豊富な石灰岩と石炭

1891年 濃尾地震 (M8.0)

死者：7,273人，全壊家屋：142,144戸



国立科学博物館

煉瓦造，組積造に被害



1891年 濃尾地震

1990年 フィリピン地震



1995年 サハリン北部地震



1892年 震災予防調査会発足

耐震構造に関する研究の開始

1906年 San Francisco地震
(M8.3) 死者700人

尾崎行雄：東京市建築条例案
日本建築学会に委託

1906年 東京市建築条例案起稿委員会

1913年 東京市建築条例案提出

材料・構造・防火

建築手続き・道路との関係

衛生・保安

鉄筋コンクリート構造

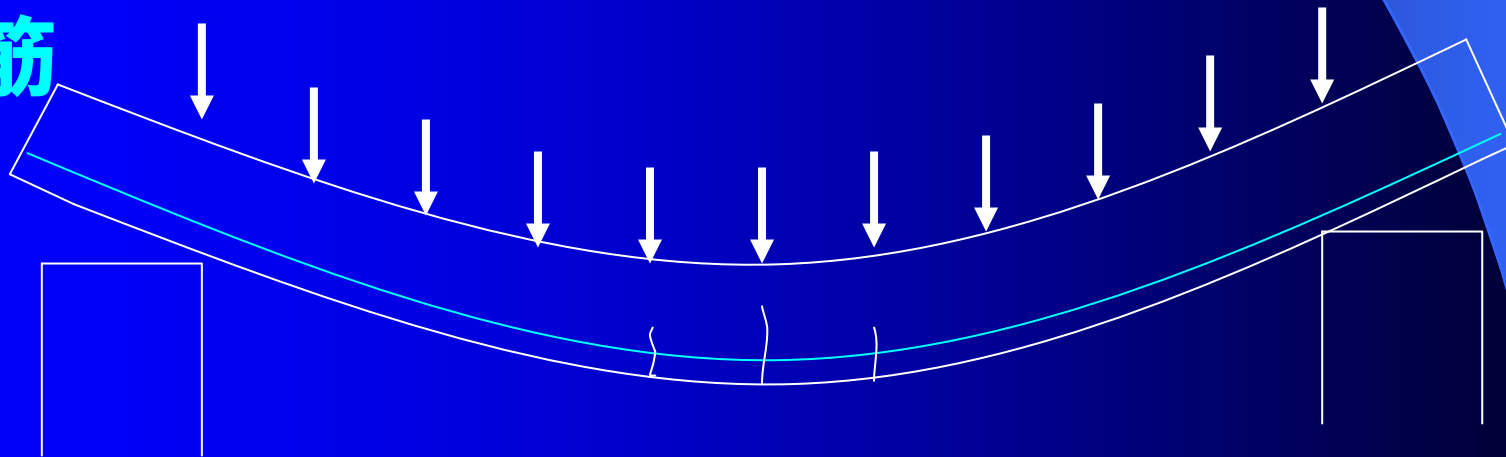
(東京市建築条例案)

建築局の許可が必要 (詳細・仕様書)

材料 セメントの使用

構造 コンクリート重量
梁の許容曲げモーメント

主筋



1918年 警視庁建築取締規則案

鉄筋コンクリート構造

構造強度計算標準

鉄筋コンクリート構造

(警視庁建築取締規則案)

材料 調合，鉄筋の質

構造 鉄筋定着

柱の構造

主筋4本以上

つなぎ筋の間隔

(1尺かつ主筋径の15倍以下)

かぶり (1寸)

構造強度計算標準

(警視庁建築取締規則案)

材料の重量

材料の許容強度

許容応滑（付着）

鉄とコンクリートとの弾率比

1919年 市街地建築物法および施工令

1891年 濃尾地震

1906年 San Francisco地震

適用区域

東京・京都・大阪・横浜・神戸・名古屋

用途地域制度（住居・商業・工業）

建築面積・空地の制限

建築物の構造・設備

建築物の高さ制限

地域	住居（65尺），その他（100尺）
構造	れんが造・石造（65尺） 木造（50尺・3階）

1919年 市街地建築物法施工規則

第1章 通則

第2章 建築物の突出部

第3章 建築物の構造設備

第4章 防火地区

第5章 美観地区

第6章 工事執行

付則

第3章 第2節 構造強度

第1 概則

第2 木構造

第3 石構造，煉瓦構造

第4 鉄構造

第5 鉄筋コンクリート構造

第6 独立煙突

第7 強度計算

第3章 第2節 構造強度

第5 鉄筋コンクリート構造

材料 調合

セメントと砂，砂利の比は
 $1:2:4$ が基本

構造規定

警視庁建築取締規則案と同じ

第3章 第2節 構造強度

第7 強度計算

各種材料の重量

常時の鉛直荷重のみ設計の対象

積雪，風圧力，地震力

記述がない

1923年 関東大震災 (M7.9)

死者：99,331人，行方不明：43,476人
全壊：128,226戸，焼失家屋：47,128戸



丸の内内外ビルディング（国立科学博物館）

震災予防調査会報告 100号丙

東京市内および近郊の 鉄筋コンクリート造建築物

総数 710棟

大破以上 84棟（全壊 15棟）

「鉄筋コンクリート造家屋の耐震耐火の価値が一般的に認められたことは事実で偉大なる自然の大実験に合格し、好成績を顕し、その真価が遺憾なく証明された訳で・・・中略・・・是非とも推薦しなければならない建築物は鉄筋コンクリート造たるべし」

但し之が万能であるという意味ではない

被害の 原因	不規則な平面
	少ない壁量
	不完全な柱梁接合部
	鉄筋の継手・定着の不足
	不適当な配筋
	不完全な基礎
	コンクリート強度の不足

1923年 市街地建築物法改正

構造部材の強度と剛性の強化
構造部材相互の接合部の強化

鉄筋コンクリート造の構造規定

鉄筋の継手：重ね長さ $25d$ 以上

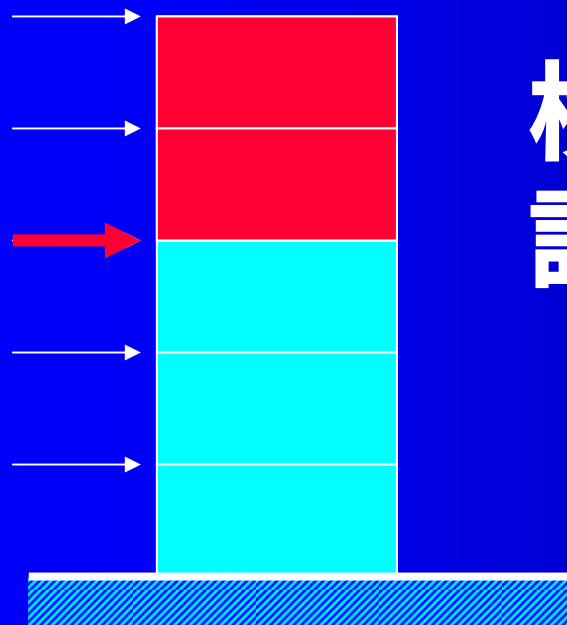
梁鉄筋：複筋に

柱の小径：スパンの $1/20$ を $1/15$ に

柱の鉄筋比： $1/80$ (1.25%)以上

耐震計算の義務

水平震度を0.1とする
各階にはその階が支えている
重さの10%が地震力として作用



横からの力に対する
計算は一般的でない

1923年 「市街地建築物法改正」

水平外力に対する骨組みの 実用的な応力計算法の普及

1924年「構造強度計算基準」 日本建築学会

一般方針

常時荷重と地震力の加算

剛床

部材	横力の分布係数 (D)
柱	1
耐震壁	
有開口	5～15
無開口	8～20

耐震壁：厚さ8cm以上，縦横配筋

コンクリートに関する規則

セメント：農商務省試験法

調合（容積比）：

セメント：砂：砂利

1 : 2 : 4

許容応力度：45kg/cm²

1929年 コンクリート及び鉄筋
コンクリート 標準仕様書

コンクリートの調合は
所要の強度（水セメント比）
均一な施工に適当な軟度

1932年 市街地建築物法施工規則

1933年

鉄筋コンクリート構造計算規準

水平力に対する実用的計算法

断面決定のための実用計算式と図表

構造計算書の標準的な書式

許容応力度設計法

作用

荷重

法令

部材の力

建築学会

材料の応力

法令

許容応力

建築学会

材料強度

日本工業規格

**1934年 東京工業大学
建築材料研究所創立**

1941年 鉄骨構造計算規準案

**鉄筋コンクリート構造の研究
鉄骨構造より先行**

1938年 市街地建築物法改正 防空

1943年 市街地建築物法戦時特例

1944年 臨時日本標準規格533号

1943年 鳥取地震 M7.2

(死者・行方不明者 1,083人)

1944年 東南海地震 M7.9

(死者・行方不明者 1,223人)

1945年 三河地震 M6.8

(死者・行方不明者 2,306人)

1946年 南海地震 M8.0

(死者・行方不明者 1,330人)

1948年 福井地震 M7.1

(死者・行方不明者 3,769人)

1947年 日本建築規格建築3001

1950年 建築基準法制定

守るべき構造の**最低限度**

安全であることを確認する**構造計算の基準**

構造計算の**代替手法**（壁量など）

構造計算では**確保できないこと**

応力計算の過程は規定せず、
日本建築学会規準に委ねた

計算技術・計算機の発展

構造計算の高度化・コンピューター化

1963年 建築基準法第4次改正

構造計算をしない建物

構造計算をする建物

大臣認定建物 高層ビル

高さ制限から**容積**制限

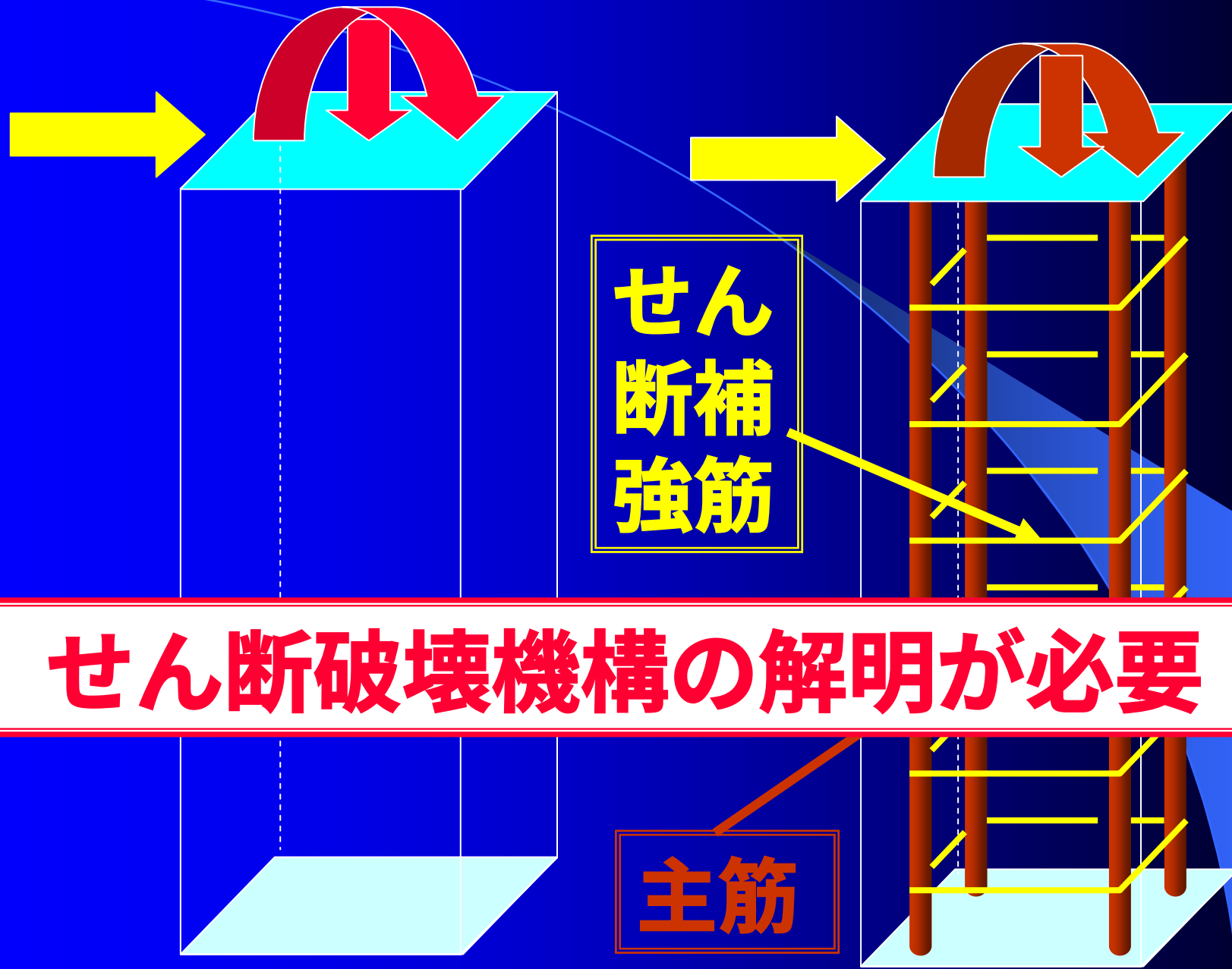
(1918年以來の高さ制限の廃止)

1968年 霞ヶ関ビル竣工

1968年 十勝沖地震 (M7.9)

柱のせん断強度と変形性能の不足





せん断破壊耐力実験式が提案

1971年 建築基準法施行令の改正

柱の許容せん断耐力の計算
せん断補強筋量の計算

柱の繋筋間隔1尺以下の改正
(1918年以来)

既存建物には遡及しない

既存不適格建物

1977年

**既存建築物の耐震診断基準・
耐震改修指針**

既存不適格建物から

耐震性に疑問ある建物を抽出

耐震補強する方法の提案

1978年 宮城県沖地震 (M7.4)



ピロティ建物
重心と剛心の偏心
(ねじれ振動)

杭の曲げ圧縮破壊



1980年

建築基準法改正

建物の**性能目標**（陰な形）

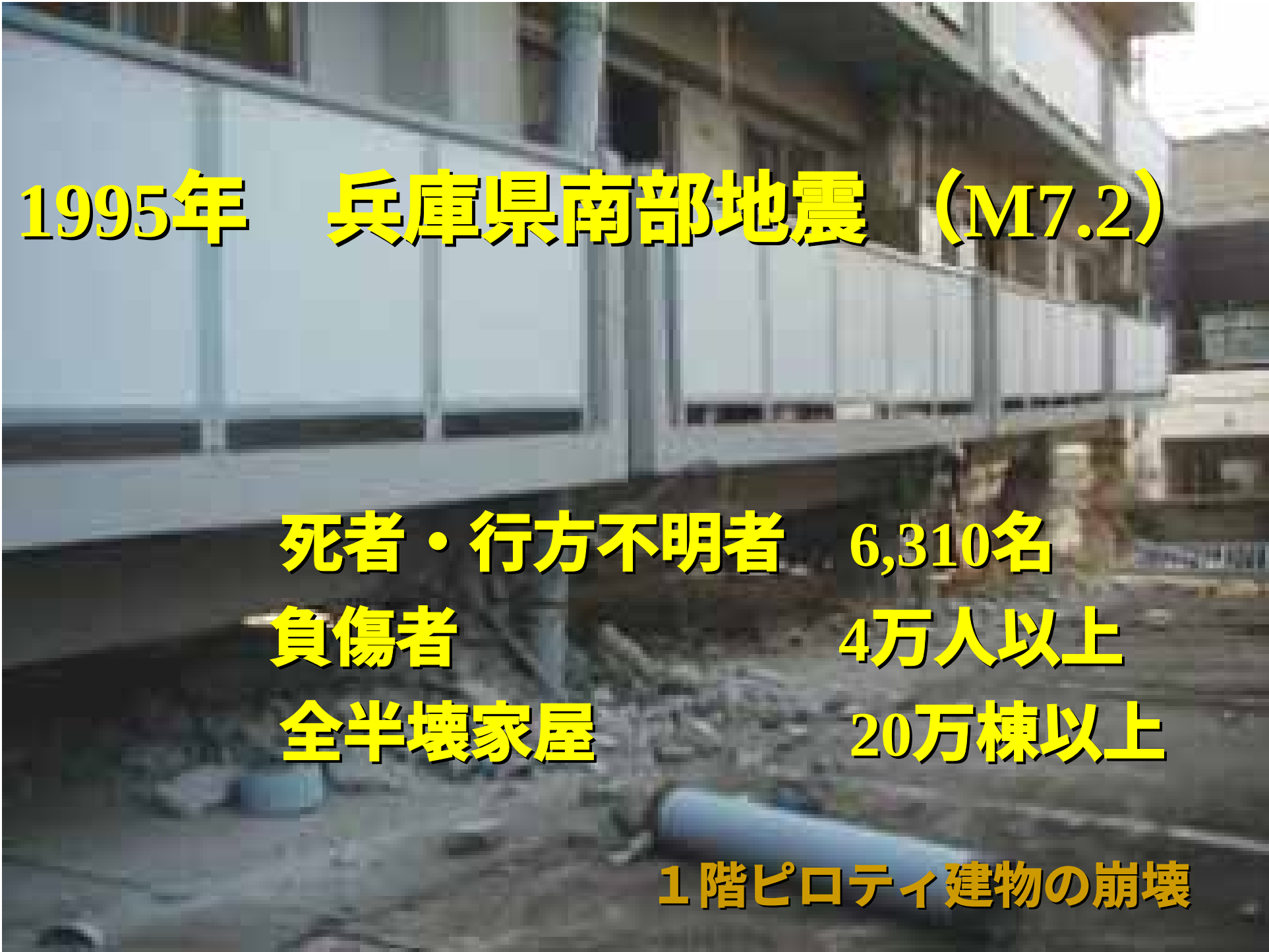
中小地震に対する損傷防止

大地震に対する人命保護

地盤と建物の振動性状を
考慮した**地震力の設定**

構造計算手法の複雑化

構造計算する建物（略算，精算）



1995年 兵庫県南部地震 (M7.2)

死者・行方不明者 6,310名

負傷者 4万人以上

全半壊家屋 20万棟以上

1階ピロティ建物の崩壊

1971年以前の竣工（旧基準）



中間層崩壊

1995年兵庫県南部地震 M7.2)



1982年以降の竣工（新耐震）

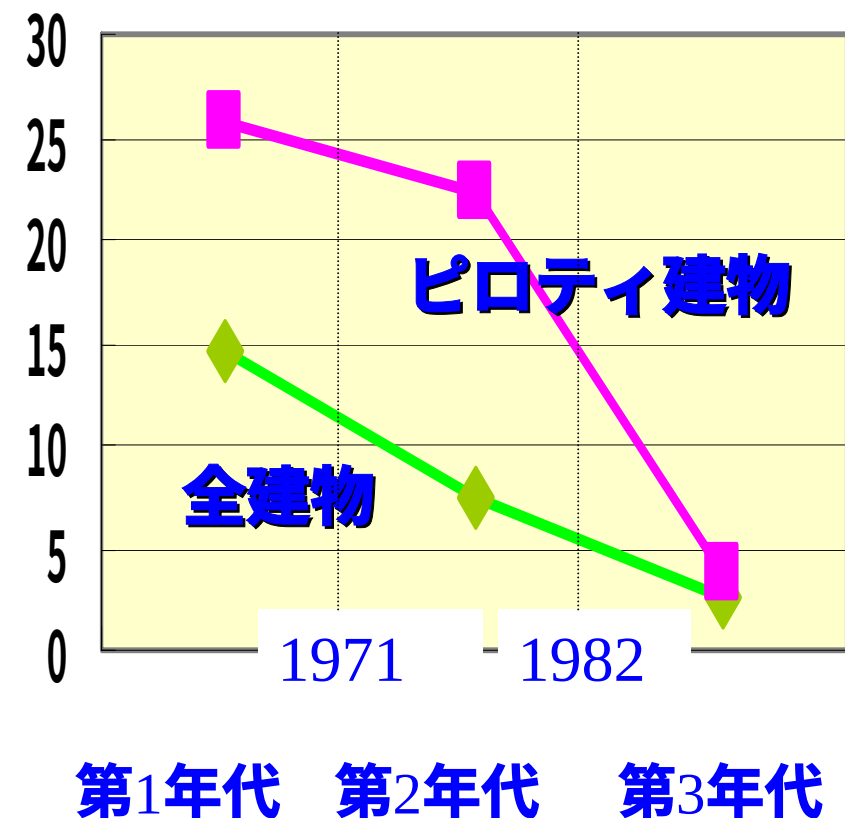
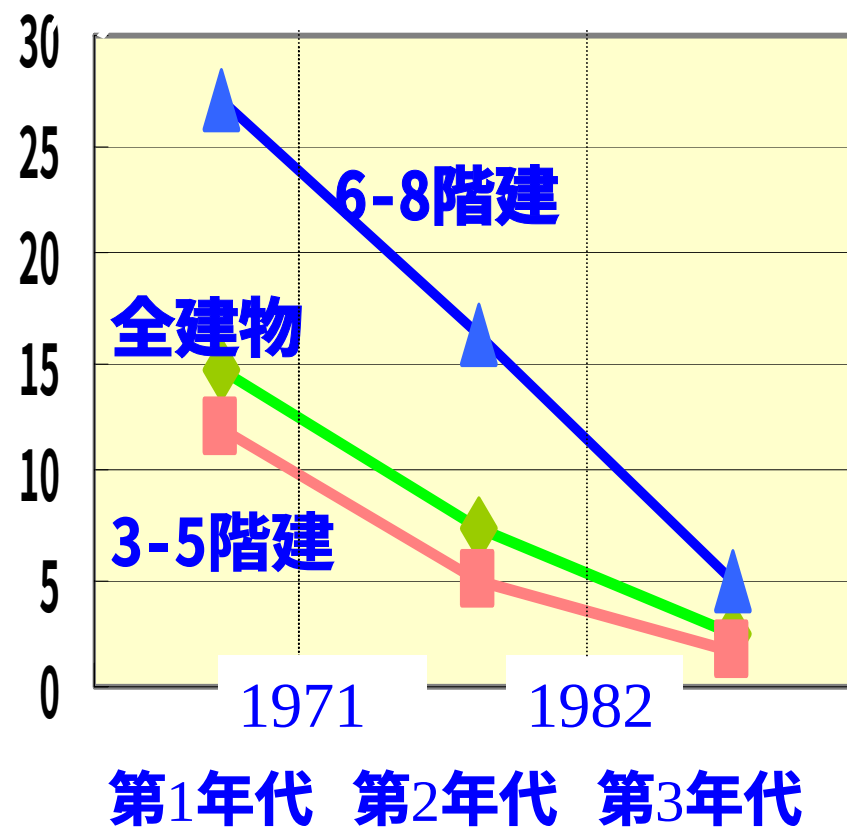
梁降伏による
全体崩壊



1階ピロティ柱の
せん断破壊によ
る全体崩壊

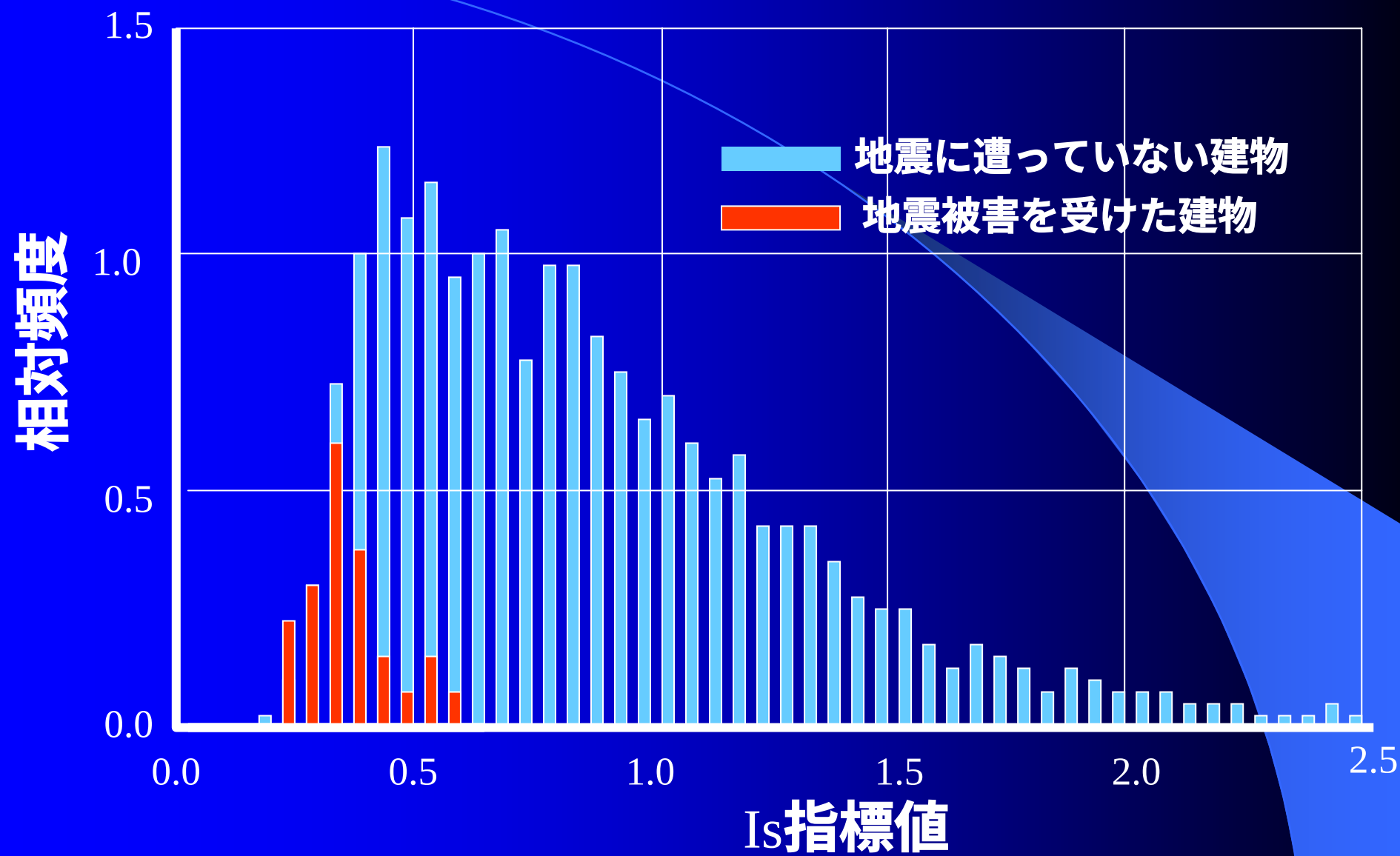
1995年兵庫県南部地震（M7.2）





鉄筋コンクリート造建物被害度分布全数調査

三宮・灘・東灘地区



イメージ

設計

施工

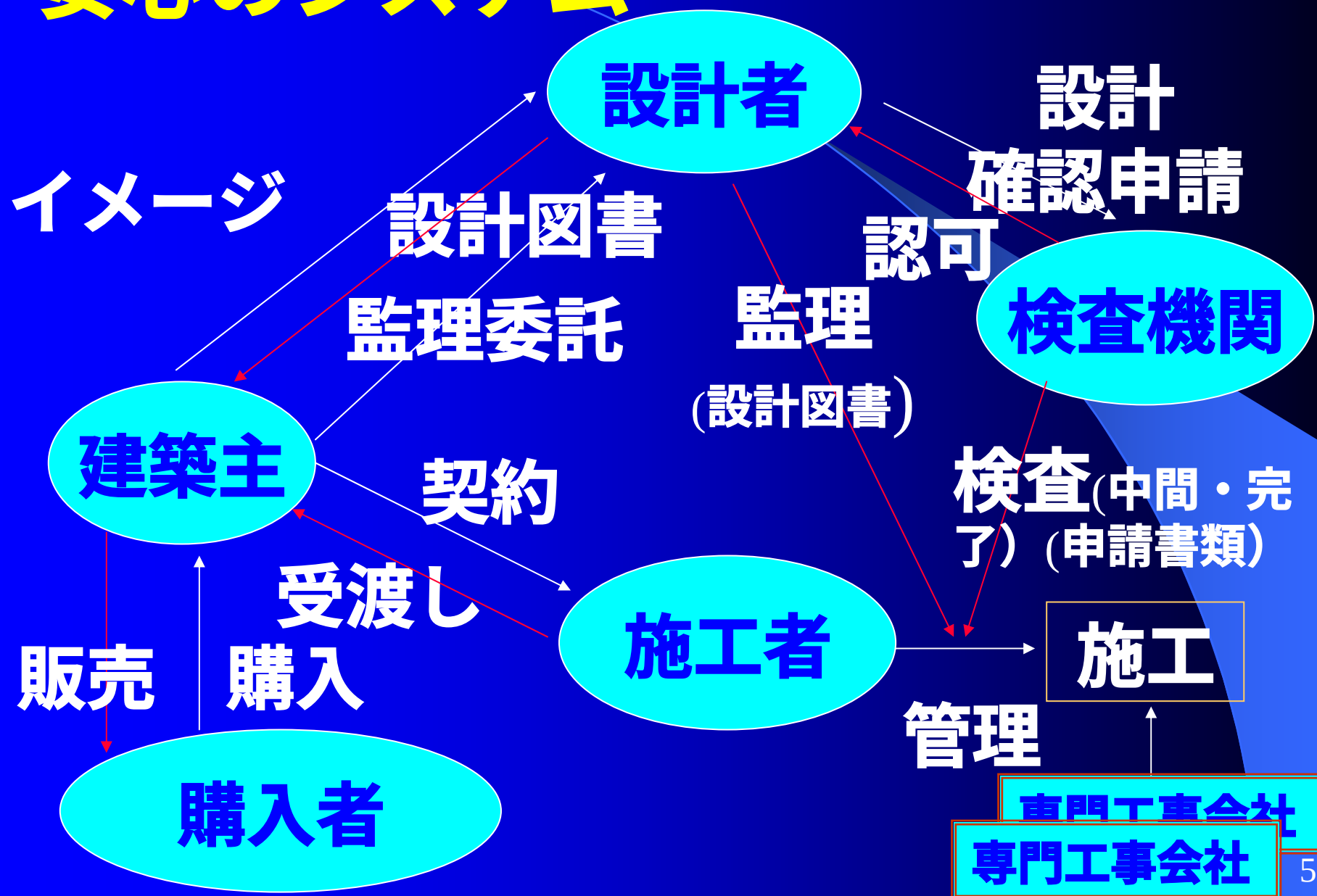
完了

建築主

設計者

施工者

安心のシステム



安全のために

工学システム

研究・設計法・構造計算法

品質管理システム（設計・施工）

自主検査システム

受取検査システム

安心のために

社会システム

保険制度・監視（第3者検査）・相談窓口



1933年竣工

鉄骨鉄筋コンクリート造